

Handwritten text, possibly a signature or date, located in the upper right corner of the page.



79163

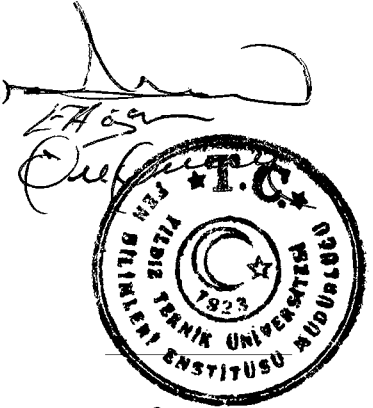
**BİTÜMLÜ KARIŞIMLARA
EKLENEBİLECEK KATKILAR ile BU TİP BİTÜMLÜ
KARIŞIMLARIN DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI
ve
BİR YORULMA EĞRİSİ TAHMİN MODELİ**

İnş. Y. Müh. Recep Yener BİRLİKER

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

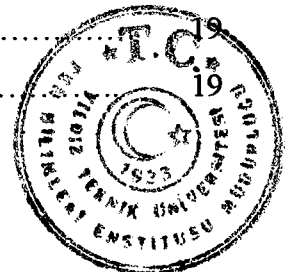
Tez Savunma Tarihi : 07 Temmuz 1998
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa İLICALI (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emine AĞAR (İ.T.Ü.)
Prof. Dr. Özer GÜÇMEN (İ.T.Ü.)



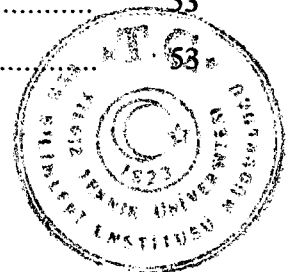
İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

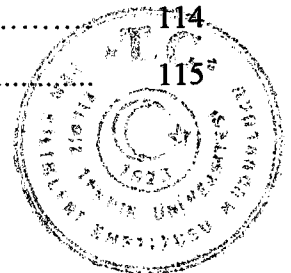
	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR.....	4
2.1 Bitümün Terminolojisi.....	4
2.2 Bitümün Tarihçesi.....	4
2.3 Bitümün Orijini.....	6
2.4 Bitümün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri.....	6
2.4.1 Asfaltenler.....	8
2.4.2 Maltenler.....	9
2.4.2.1 Reçineler.....	9
2.4.2.2 Aromatikler.....	10
2.4.2.3 Doymuş hidrokarbonlar.....	10
2.5 Bitümün Yapısı ve Reolojisi Arasındaki İlişkiler.....	12
2.6 Bitümün Yapısı ve Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki....	13
2.7 Yol Malzemesi Olarak Bitümlü Bağlayıcılar.....	14
2.7.1 Asfalt.....	16
2.7.1.1 Doğal asfaltlar.....	16
2.7.1.2 Yapay asfaltlar.....	16
2.7.1.2.1 Asfalt çimentoları (AC).....	17
2.7.1.2.2 Sıvı petrol asfaltları.....	17
2.7.1.2.3 Asfalt emülsiyonları.....	17
2.7.2 Katran.....	18
BÖLÜM 3 BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN TEST YÖNTEMLERİ ve BAĞLAYICI ŞARTNAMESLERİ.....	19
3.1 Test Yöntemleri.....	19



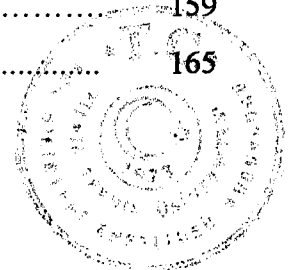
3.1.1	Standardı olmayan test yöntemleri.....	22
3.1.1.1	Uyumluluk/depolama stabilitesi testleri.....	22
3.1.1.1.1	Tüp testleri.....	22
3.1.1.1.2	UV Floresant Mikroskopu.....	22
3.1.1.1.3	Kırma testi.....	23
3.1.1.2	Reolojik testler.....	23
3.1.1.2.1	Akma davranışı testleri.....	23
3.1.1.2.2	Elastik geridönüş testleri.....	25
3.1.1.2.3	Çekme gerilmesi testleri.....	27
3.1.1.2.4	Statik mekanik testler.....	29
3.1.1.2.5	Dinamik mekanik testler.....	30
3.1.1.3	Adezyon/Kohezyon testleri.....	32
3.1.1.3.1	Vialit test.....	32
3.1.1.3.2	Gevreklik ısısı.....	32
3.1.1.3.3	Düşme sıcaklığı.....	33
3.1.1.3.4	Büzülme testi.....	33
3.1.1.3.5	Vialit Pendül Çekici kullanılarak kohezyon testi.....	33
3.1.1.3.6	Kaynayan su soyulma testi.....	34
3.1.1.4	Yaşlanma testleri.....	34
3.1.1.4.1	Basınçlı yaşlanma kabı testi.....	34
3.1.1.4.2	BRRC yöntemiyle yaşlanma testi.....	35
3.1.1.5	Kimyasal analiz yöntemleri.....	36
3.1.1.5.1	Spektroskopik yöntemler.....	36
3.1.1.5.2	Kromatik yöntemler.....	37
3.2	Bağlayıcı (Modifiye Bitüm) Şartnameleri.....	40
3.2.1	SHRP Bağlayıcı şartnamesi.....	46
3.2.1.1	SHRP Bağlayıcı şartnamesinin değerlendirilmesi.....	46
3.2.2	KGM Modifiye bitüm özel teknik şartnamesi.....	50
BÖLÜM 4	BİTÜM VE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARDA	
	KULLANILAN KATKILAR.....	53
4.1	Giriş.....	



4.2	Bitüm ve Bitümlü Karışımlarla İlgili Bazı Terimler.....	54
4.3	Bitüm ve Bitümlü Karışımların Modifikasyonu.....	56
4.3.1	Bitümlü karışımlarda katkı maddelerinin rolü.....	59
4.3.2	Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilme sebepleri ..	61
4.3.3	Modifiye yöntemleri.....	63
4.3.4	Bitüm katkı maddelerinde ve modifiye bitümlerde aranılan özellikler.....	64
4.3.4.1	Bitüm katkı maddelerinde aranılan özellikler.....	64
4.3.4.2	Katkılı bitümlerde aranılan özellikler.....	64
4.4	Bitüm Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması.....	65
4.4.1	Fillerler.....	69
4.4.2	Ekstenderler (Genleştiriciler).....	72
4.4.3	Kauçuklar.....	74
4.4.4	Plastikler.....	82
4.4.5	Kombinasyonlar.....	90
4.4.6	Fiberler.....	91
4.4.7	Oksidanlar.....	95
4.4.8	Antioksidanlar.....	97
4.4.9	Hidrokarbonlar.....	98
4.4.10	Soyulma önleyiciler (Antistripler).....	105
BÖLÜM 5	POLİMER MODİFİYELİ BİTÜMLER.....	108
5.1	Yol Uygulamalarında Kullanılan Polimerler.....	108
5.1.1	Polimer katkı maddelerinin özellikleri.....	110
5.1.1.1	Termoplastikler.....	110
5.1.1.2	Termosetler.....	111
5.1.1.3	Elastomerler.....	112
5.1.1.4	Fiberler.....	113
5.2	Polimer Modifiye Asfaltların Saha Performansları ve Fonksiyonel Özellikleri.....	113
5.2.1	Kalıcı deformasyon.....	114
5.2.2	Yorulma çatlağı.....	115



5.2.3	Soyulma.....	115
5.2.4	Yaşlanma.....	116
5.2.5	Isısal çatlama.....	117
5.2.6	Aşınma.....	118
5.3	Değerlendirme.....	119
BÖLÜM 6	BAĞLAYICI ve KARIŞIMLARLA YAPILAN LABORATUAR ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI ve BİR YORULMA EĞRİSİ TAHMİN MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	122
6.1	Çalışmada Kullanılan Bağlayıcılar.....	123
6.1.1	Bağlayıcılar ve katkı maddeleri.....	123
6.1.1.1	SBS elastomer katkıli bağlayıcılar	123
6.1.1.2	EVA plastik katkıli bağlayıcı.....	124
6.2	Uygulanan Deneyler.....	124
6.3	B1 ve SB1 Bağlayıcıları ile Yapılan Çalışmalar.....	125
6.3.1	K1 ve SK1 Karışımlarının Marshall stabiliteleleri.....	126
6.3.2	K1 ve SK1 Karışımlarıyla yapılan İndirekt Çekme testi (Esneklik modülü ölçümü).....	126
6.4	B2, SB2 ve EB2 Bağlayıcılarıyla Yapılan Çalışmalar.....	130
6.4.1	Bağlayıcı deneyleri.....	130
6.4.1.1	Bağlayıcıların RTFOT üretim yaşlanması.....	132
6.4.1.2	Bağlayıcıların BRRC servis yaşlanması.....	133
6.4.1.3	Bağlayıcıların Elastik geridönüşleri.....	135
6.4.1.4	Bağlayıcıların dinamik özellikleri (Kayma modülü, Young modülü, faz açısı); Reolojik test	135
6.4.2	K2, SK2 ve EK2 karışımlarıyla yapılan çalışmalar	144
6.4.2.1	Karışımların Marshall ölçümleri	145
6.4.2.2	Karışımların Kompleks modülleri ve Yorulma testleri	147
6.4.2.2.1	Karışımların Kompleks modülleri	149
6.4.2.2.2	Karışımların Yorulma (Fatigue) testleri	159
6.5	Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli.....	165

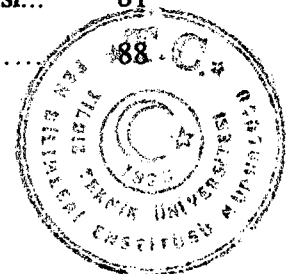


BÖLÜM 7	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	172
KAYNAKLAR.....	178
EK-1.....	Bağlayıcıların Dinamik Özelliklerinin Ölçülmesi (Reolojik Test) Prosedürü.....	182
EK-2.1.....	Bitümlü Karışımların Yorulmalarının Tespiti (Fatigue Test) Test Prosedürü.....	193
EK-2.2.....	Bitümlü Karışımların Rijitliği.....	200
EK-3.....	RTFOT Üretim Yaşlanması ve Asfaltın %'si Tespiti Deneyleri	209
EK-4.....	“ Standart Olmayan Test Yöntemlerin ” de belirtilen Kaynaklar	210
ÖZGEÇMİŞ.....	214

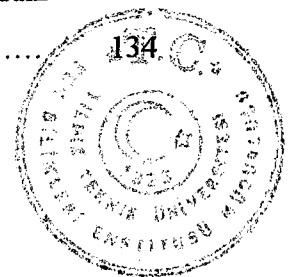


ŞEKİL LİSTESİ

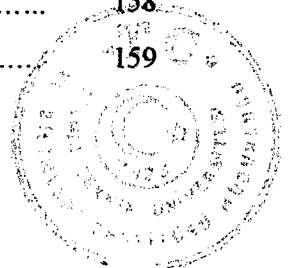
	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Bitümlerdeki kimyasal yapının şematik dağılımı.....	8
Şekil 2.2 Asfaltenin kimyasal yapısı.....	9
Şekil 2.3 Aromatiklerin kimyasal yapısı.....	10
Şekil 2.4 Doymuş hidrokarbonun kimyasal yapısı.....	10
Şekil 2.5 “Sol” tip bitümün şematik olarak gösterilmesi.....	11
Şekil 2.6 “Jel” tip bitümün şematik olarak gösterilmesi.....	12
Şekil 2.7 Bitümün kimyasal yapısı ve penetrasyon indeksi arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.8 Karıştırma, serme ve servis sırasında bitümün yapısındaki değişme.....	14
Şekil 2.9 Yol malzemesi olarak bitümün çeşitleri.....	15
Şekil 3.1 Bitümlü bağlayıcıların hızlandırılmış yaşlanma testi aygıtının şeması...	35
Şekil 4.1 Elastik cisim.....	55
Şekil 4.2 Viskoz cisim.....	55
Şekil 4.3 Viskoelastik cisim.....	55
Şekil 4.4 İdeal bir modifiyerle sağlanabilen, karışımın sertliğinde oluşan değişmeler.....	59
Şekil 4.5 Statik yüklemde viskoelastik davranış.....	60
Şekil 4.6 Hareketli tekerlek yükü altında viskoelastik davranış.....	61
Şekil 4.7 Kireç katkılı asfaltların katkısız asfaltlara göre yaşlanmadan önceki ve sonraki viskoziteleri.....	70
Şekil 4.8 Farklı kireç miktarlarının asfaltların ilk sertlikleri ve zamanla sertleşme oranları üzerindeki etkileri.....	71
Şekil 4.9 Microfi 8’ in 0,01 saniyelik yüklemeler yapılan asfaltta sertlik-sıcaklık ilişkisi üzerindeki etkisi.....	72
Şekil 4.10 Sülfür içeriklerinin Marshall özellikleri üzerindeki etkisi.....	74
Şekil 4.11 Bazı polimer tiplerinin viskozite üzerindeki etkileri.....	77
Şekil 4.12 Esneklik modülü-sıcaklık ilişkisi.....	77
Şekil 4.13 Cariphalte DM ve 50 pen. bitümün viskozite ve ısı arasındaki ilişkisi...	81
Şekil 4.14 Polybilt modifiyerlerin sıcaklık-viskozite ilişkisi.....	88



Şekil 4.15	Tipik yoğun gradasyonlu asfalt betonu karışımının dinamik sertik modülü	89
Şekil 4.16	% 6 kalıcı deformasyona ulaşılması için gereken yükleme tekerrürünü gösteren dinamik kayma testi.....	89
Şekil 4.17	Petroflex katkısıyla, gerilme gücündeki ve gerilme deformasyonuna dayanım kabiliyetindeki artış.....	94
Şekil 4.18	Üstyapı ömründeki gelişmenin VEYS bilgisayar programı kullanılarak tahmin edilmesi.....	94
Şekil 4.19	Çeşitli oranlarda Petroflex içerikli fiberlerin, tekerlek izi derinliği ve servis ömrünün önceden tahmini.....	94
Şekil 5.1	Bitüm yapısının bitüm/termoplastik kauçuk karışımları üzerindeki etkisi.....	111
Şekil 5.2	HRA ve AC karışımları için tekerlek-izi oranına sıcaklığın etkisi	114
Şekil 5.3	Bozulma tekerrürünün bir fonksiyonu olarak gerilme seviyesi.....	115
Şekil 5.4	Su depolamasından sonra kalan Marshall stabilitesi	116
Şekil 5.5	Dört çeşit bitüm ve üç polimer içeriği için teorik çatlama sıcaklığı.....	118
Şekil 5.6	Neste'nin Test yolundan alınan aşınma test sonuçları.....	119
Şekil 6.1	İndirek Çekme Testinde uygulanan haversin yüklenme	127
Şekil 6.2	Esneklik modülü sıcaklık ilişkisi (Yüklenme zamanı; RT = 30 ms.).....	128
Şekil 6.3	Esneklik modülü sıcaklık ilişkisi (Yüklenme zamanı; RT = 80 ms.).....	128
Şekil 6.4	Elastik deformasyon-sıcaklık ilişkisi (Yüklenme zamanı; RT=30 ms.).	129
Şekil 6.5	Elastik deformasyon-sıcaklık ilişkisi (Yüklenme zamanı; RT = 80 ms.)	129
Şekil 6.6	Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki penetrasyonlarındaki değişme	132
Şekil 6.7	Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki yumuşama noktalarındaki değişme	132
Şekil 6.8	Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki asfaltten oranlarındaki değişme.....	133
Şekil 6.9	Bağlayıcıların penetrasyonlarının BRRC servis yaslanmasındaki değişimleri.....	



Şekil 6.10	Bağlayıcıların yumuşama noktalarının BRRC servis yaşlanmasındaki değişimleri	134
Şekil 6.11	Bağlayıcıların asfaltten oranlarının BRRC servis yaşlanmasındaki değişimleri.....	134
Şekil 6.12	Katkısız ve modifiye bağlayıcıların elastik geridönüşleri	135
Şekil 6.13	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi ve sonrasındaki E* rijitlik modülleri Master eğrileri	138
Şekil 6.14	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi E* rijitlik modülleri için Master eğrileri	139
Şekil 6.15	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma sonrası E* rijitlik modülleri için Master eğrileri	140
Şekil 6.16	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi ve sonrası için ϕ faz açıları Black eğrileri	141
Şekil 6.17	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi için ϕ faz açıları Black eğrileri	142
Şekil 6.18	B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma sonrası için ϕ faz açıları Black eğrileri	143
Şekil 6.19	K2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi.....	146
Şekil 6.20	SK2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi.....	146
Şekil 6.21	EK2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi.....	146
Şekil 6.22	Paralel bloklar halinde yorulma testi numunelerinin üretilmesi	147
Şekil 6.23	K2, SK2 ve EK2 karışımlarının E* rijitlik modülleri için Master eğrilerinin karşılaştırılması	151
Şekil 6.24	K2 karışımının E* rijitlik modülü için Master eğrisi	152
Şekil 6.25	SK2 karışımının E* rijitlik modülü için Master eğrisi	153
Şekil 6.26	EK2 karışımının E* rijitlik modülü için Master eğrisi	154
Şekil 6.27	K2, SK2 ve EK2 karışımlarının ϕ faz açıları için Black eğrilerinin karşılaştırılması	155
Şekil 6.28	K2 karışımının ϕ faz açıları için Black eğrisi	156
Şekil 6.29	SK2 karışımının ϕ faz açıları için Black eğrisi	157
Şekil 6.30	EK2 karışımının ϕ faz açıları için Black eğrisi	158
Şekil 6.31	Yorulma deneyinde numunenin sinüsoidal yüklenmesi	159

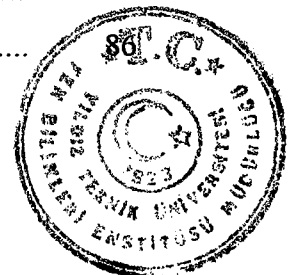


Şekil 6.32	K2, SK2 ve EK2 karışımlarının yorulma eğrilerinin karşılaştırılması ($T = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $f = 30\text{ Hz}$)	161
Şekil 6.33	K2 karışımının yorulma eğrisi ($T = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $f = 30\text{ Hz}$)	162
Şekil 6.34	SK2 karışımının yorulma eğrisi ($T = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $f = 30\text{ Hz}$)	163
Şekil 6.35	EK2 karışımının yorulma eğrisi ($T = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $f = 30\text{ Hz}$)	164
Şekil 6.36	Model ve gerçek a katsayıları arasındaki ilişki.....	168
Şekil 6.37	Model ve gerçek K katsayıları arasındaki ilişki.....	168
Şekil 6.38	B2 Bağlayıcısı ile üretilen karışımın deneysel ve hesapla elde edilen Yorulma Eğrileri.....	169
Şekil 6.39	SB2 Bağlayıcısı ile üretilen karışımın deneysel ve hesapla elde edilen Yorulma Eğrileri.....	170
Şekil 6.40	EB2 Bağlayıcısı ile üretilen karışımın deneysel ve hesapla elde edilen Yorulma Eğrileri.....	171

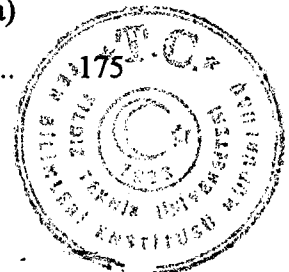


ÇİZELGE LİSTESİ

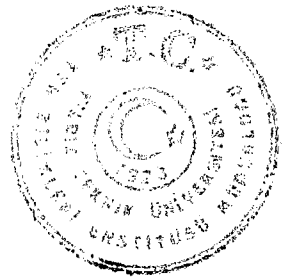
	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1 Bitümün kimyasal kompozisyonu.....	7
Çizelge 2.2 100 penetrasyonlu bitümün dört yapı grubunun tipik bir element analizi.....	11
Çizelge 3.1 Standart test yöntemleri.....	20
Çizelge 3.2 Standart olmayan test yöntemleri.....	21
Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerde PMB'ler için kullanılan yada önerilen şartname testleri.....	42
Çizelge 3.4 Polimer modifiye asfalt teknik şartnamesi (Almanya).....	43
Çizelge 3.5 Elastomerler ile modifiye edilen polimer bitüm teknik şartname önerisi (Polonya).....	44
Çizelge 3.6 Plastomerler ile modifiye edilen polimer bitüm teknik şartname önerisi (Polonya).....	45
Çizelge 3.7 Mastik asfalt uygulamalarındaki asfalt çimentosu özellikleri.....	45
Çizelge 3.8 SHRP Bağlayıcı şartnamesi.....	47
Çizelge 3.9 KGM Modifiye bitüm şartnamesi test limitleri.....	52
Çizelge 4.1 Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması.....	65
Çizelge 4.2 Bitüm modifikasyon tipleri.....	66
Çizelge 4.3 Bazı başlıca fiber malzemeleri.....	66
Çizelge 4.4 Değişmiş sonuç özellikleri ile bazı yaygın kullanılan modifiyerler arasındaki ilişki.....	67
Çizelge 4.5 Bitümlü karışımlarda kimyasal katkıların olumlu etkileri.....	68
Çizelge 4.6 Üstyapı problemlerine karşı üstyapının iyileştirilmesi için kullanılan modifiyerler.....	68
Çizelge 4.7 Cariphalte DM ve 50 pen. asfalt ile yapılmış sıcak karışım asfalt kaplamanın tekerlek-izi karşılaştırılması.....	81
Çizelge 4.8 Novophalt karışımların geleneksel asfalt betonu ile karşılaştırılması.....	84
Çizelge 4.9 Polybilt'in tipik fiziksel özellikleri.....	84



Çizelge 4.10 Polybilt modifiyerin asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri.....	87
Çizelge 4.11 Sıcak karışım geridönebilir maddeler için standart.....	100
Çizelge 4.12 Gilsonite katkısıyla tekerlek izi oluşumuna karşı dirençte gelişme	104
Çizelge 5.1 Polimer katkı maddeleri.....	110
Çizelge 5.2 SBS ve EVA ile modifiyeli bitümlerin 13 °C deki Elastik Geridönüş sonuçları.....	113
Çizelge 6.1 K1 ve SK1 karışımlarının Marshall sonuçları	126
Çizelge 6.2 İndirekt Çekme Testi sonuçları	127
Çizelge 6.3 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarıyla yapılan bağlayıcı deneyleri sonuçları	131
Çizelge 6.4 Bağlayıcıların E*rijitlik modülü ve ϕ faz açısı için Master eğrisi parametreleri	137
Çizelge 6.5 Karışım dizaynları.....	144
Çizelge 6.6 Karışımların Marshall özellikleri	145
Çizelge 6.7 Yorulma test numunelerinin özellikleri	148
Çizelge 6.8 Karışımların E* kompleks modülü ve ϕ faz açısı için Master eğrisi parametreleri	149
Çizelge 6.9 Karışımlar için alınan aktivasyon enerjisi ve uygunluk katsayıları .	150
Çizelge 6.10 Karışımların yorulma sonuçları	160
Çizelge 6.11 Modelde kullanılan bağlayıcı ve karışıma ait bazı karakteristikler .	165
Çizelge 6.12 Regresyon ve gerçek yorulma denklemleri.....	167
Çizelge 7.1 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının test sonuçlarına göre sıralaması..	173
Çizelge 7.2 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının KGM modifiye bitüm şartnamesi test limitlerine göre değerlendirmesi.....	173
Çizelge 7.3 Yaşlanma öncesi sıcaklık, frekans değişimleri-Young (Kayma) Modülü(E*), Faz açısı değerleri.....	174
Çizelge 7.4 Yaşlanma öncesi sıcaklık, frekans değişimleri-Dairesel Kayma Modülü (G*),Faz açısı değerleri	174
Çizelge 7.5 Yaşlanma sonrası sıcaklık, frekans değişimleri-Young (Kayma) Modülü(E*), Faz açısı değerleri.....	



Çizelge 7.6	Yaşlanma sonrası sıcaklık, frekans değişimleri-Dairesel Kayma Modülü (G^*),Faz açısı değerleri.....	175
Çizelge 7.7	Karışımların yorulma ömürlerine ait bazı bilgiler.....	176



ÖNSÖZ

Doktora çalışmam süresince, bana her zaman destek olan, bilgi ve deneyimi ile yol gösteren Tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Mustafa ILICALI'ya,

Mensubu olma onurunu taşıdığım TCK açısından da büyük önem taşıyan bu çalışmalarım sırasında, her safhada desteklerini gördüğüm Genel Müdürüm Sn. Yaman KÖK 'e, Otoyollar Dairesi Başkanı Sn. Sefer TIRMAN'a , Başmühendisim Sn. Özay TURNAOĞLU 'na ve 17. Bölge Müdürlüğü Araştırma Başmühendisliğindeki tüm mesai arkadaşlarıma,

Belçika Yol Araştırma Merkezinde (BRRC) yaptığım çalışmalarda, tüm olanaklarıyla bana yardımcı olan danışmanlarım Bn. L. VAN LANGENHOVE'a, Sn. A. VERHASSELT'a, Sn. Dr. L. FRANCKEN'e, departman müdürü Sn. G. VAN HEYSTRÆTEN'e, teknisyenler Sn. Ch. MOTTE'e, Sn R. TRYPSTEEN'e, Sn. Ph. PEAUREAUX'ya, Sn. P. VANELVEN'e ve Araştırma Merkezinin tüm personeline,

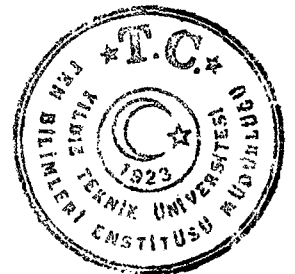
Özellikle, Tezin modellerinin oluşturulması aşamasında çok büyük yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Sn. İnş. Y. Müh. Halit ÖZEN'e ve Sn. İnş. Y. Müh Süreyya TAYFUR'a,

Katkıları için arkadaşlarım, Sn. Harita Müh. Kenan ŞARA'ya, Sn. Harita Müh. İ. Yavuz OKTAY'a, Sn. İnş. Y. Müh. Atilla BOSTANCIOĞLU'na ve

Tezin yazılması ve düzenlenmesi aşamasında büyük emek harcayan arkadaşlarım Sn. Adem DOLU ve Sn. Şerif KIRTAŞ'a,

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Recep Yener BİRLİKER

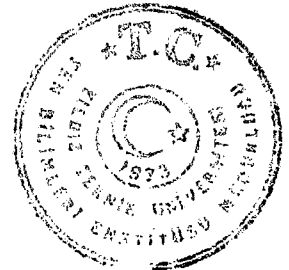


ÖZET

Bu çalışmada, bitümün kimyasal ve fiziksel yapı özellikleri ile çeşitleri, bitümlü bağlayıcı ve karışımların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yeni test yöntemleri ve modifiye bitüm şartnameleri, bitüm modifiyerlerinin kimyasal yapılarına, fiziksel yapılarına, modifikasyon tipine ve bağlayıcı ya da karışım üzerindeki etkilerine göre sınıflandırılmaları ve çeşitli modifiyerlerin bitüm ve karışım üzerindeki etkileri bölümler halinde ele alınmaktadır. Ayrıca, modifiyerler arasında dünyada oldukça yaygınlaşan polimer modifiye bitümler ve bu tezin laboratuvar çalışmaları için seçilen polimer katkıli modifiye bitümlerle yapılan çalışmalar ve sonuçları da ayrı bölümlerde verilmektedir.

Yapılan laboratuvar çalışmalarında; SBS elastomeri ve EVA plastomeri ile modifiye edilen modifiye bitümler ile orijinal bitümün dinamik özellikleri (kayma modülü, Young modülü, faz açısı, frekans ilişkileri), sıcaklık-yaşlanma (üretim ve saha yaşlanması) ilişkileri ve bu bağlayıcılarla (katkılı ve katkısız) oluşturulan kaplama karışımlarının yük-deformasyon, yük tekerrürü-yorulma ve sıcaklık-rijitlik modüllü ilişkileri yeni test yöntemleriyle araştırılmış, seçilen modifiyerlerin bitüm ve karışım özellikleri üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca bu tip bağlayıcılarla oluşturulan karışımların bitümlü bağlayıcının özelliğine bağlı olarak ömürlerini tahmin edebilmek amacıyla bir model oluşturulmaya çalışılmıştır.

Üstyapı kaplamalarında görülen tekerlek-izi, ondülasyon, çatlama, soyulma gibi trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalara karşı kaplama performansının iyileştirilmesi bitüm modifikasyonu ile sağlanabilmektedir. Ancak, bu konuda daha kesin düşüncelere ulaşmak için uzun süreli (5 yıldan daha fazla) saha performanslarına ihtiyaç duyulması ve modifiye bitüm fiyatlarının klasik bitüm fiyatlarına göre iki mislini aşan oranlarda daha pahalı olması nedenleriyle, modifiye bitüm kullanımının dünyada yeterince yaygınlaşmadığı görülmekte ve gelecekte daha çok, yolların özel kısımlarda kullanılacağı düşünülmektedir.

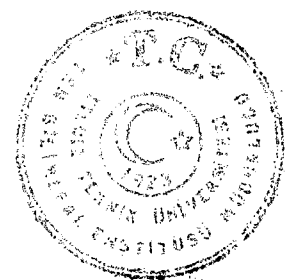


ABSTRACT

In this study, the subjects which are dealt with in separate sections are chemical and physical properties and types of bitumen, new testing methods used in the determination of the characteristics of bituminous binders and mixtures and specifications for modified bitumen, classification of bitumen modifiers according to their chemical structure, physical structure, the modification type and their effects on the binder or mixture, and the effects of various modifiers on the bitumen and mixture. In addition, the studies carried out with polymer modified bitumen which have become quite wide-spread in the world among other modified bitumen and modified bitumen with polymer additives which were selected for the laboratory works of this thesis and the results of these studies are given in separate sections.

In the laboratory works performed, new testing methods were used to investigate the relations between the dynamic characteristics of bitumen modified with SBS elastomer and EVA plastomer and of the original bitumen (shear modulus, Young's modulus, phase angle, frequency), temperature - ageing (production and site ageing) relations and the relations of the surfacing mixtures formed with these binders (with and without additives) with regard to load - deformation, load frequency - fatigue and temperature - rigidity modulus. In these laboratory works, the effects of the selected modifiers on the bitumen and mixture characteristics were also determined.

The improvement of the surfacing performance against deteriorations such as rutting, undulation, cracking, stripping which occur on the pavement surfacing depending on the traffic load and seasonal conditions can be ensured with bitumen modification. However due to the fact that long lasting (more than 5 years) site performances are needed in order to reach more definite opinions on this subject and the modified bitumen prices are more than twice as much the conventional bitumen prices, it is observed that the use of modified bitumen is not spread sufficiently around the world and it is anticipated that this material will be used mostly in special sections of the roads in the future.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

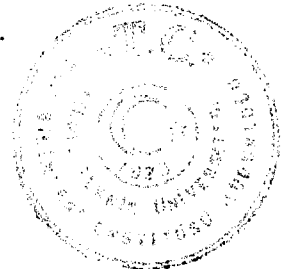
Toplam 60 000 km.yi bulan Türkiye karayolu ağı içerisinde yaklaşık 5000 km.devlet ve il yolu ve 1500 km. otoyolu Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) ile kaplıdır. Otoyollar gibi altyapı harcamalarının da çok büyük maliyetler gerektirdiği yüksek standartlı yollarda toplam maliyetin %15-25 gibi büyük bir oranını bitümlü karışımlarla oluşturulan üstyapı tabakaları, bitümlü karışımların fiyatlarının da %35-40 ını bitüm fiyatı oluşturmaktadır.

Ekonomik kalkınma ve yaşam standartlarının yükselmesiyle toplumların konforlu ve emniyetli sürüş kalitesi talebi ve yüksek maliyetleri nedenleriyle, yol üstyapılarının daha uzun ömürlü ve kaymaya karşı daha dirençli olarak öngörülen sürede ve konfor seviyesinde hizmet verecek şekilde projelendirilmesi, çok daha önemli hale gelmektedir.

Yol yapısının her bir tabakasında kullanılan malzemeler yolun öngörülen ömür ve konfor seviyesinin sağlanması bakımından büyük önem taşırlar. Esnek yol üstyapısını oluşturan bağlayıcı ve agregaların özellikleri de esnek üstyapının performansını etkiler.

Esnek yol üstyapılarının ana malzemelerden biri olan ve bu çalışmanın da esas konusu olan bitüm, visko-elastik davranış gösteren, termo-plastik bir malzeme olup, trafik yükleri altında yükün şiddetine, yükleme zamanına ve sıcaklığa bağlı olarak farklı davranışlar gösterirler. Isıya karşı çok hassas bir malzeme olan ve çok düşük sıcaklıklarda kırılğan, yüksek sıcaklıklarda plastik davranış gösteren bitümün, yapısal ve fiziksel özellikleriyle, bağlayıcı olarak önemli bir rol oynadığı bitümlü karışımların davranışları arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Bitümlü bağlayıcıların yol malzemesi olarak özelliklerinin belirlenmesinde, alışlagelmiş yöntemlerle birlikte günümüzün gelişmiş teknolojisinin sağladığı olanaklar da kullanılarak yeni yöntemler de kullanılmakta ve bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.



Esnek üstyapı kaplamalarında görülen tekerlek izi, ondülasyon, ötelenme, çatlama, soyulma gibi trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen bozulmalara karşı bitümlü bağlayıcılara ve/veya bitümlü karışımlara çeşitli katkı maddeleri eklenerek bitümün modifiye edilmesi konusundaki çalışmalar son yıllarda oldukça yoğunlaşmış olarak birçok ülkede sürdürülmektedir.

Yol üstyapısının kullanılacağı bölgedeki iklim ve coğrafya koşullarına göre uygun bitümün seçilmesinde ve gerekiyorsa modifiye bitümün kullanılmasında, bağlayıcı özelliklerinin klasik yöntemlerle birlikte yeni yöntemler de kullanılarak belirlenmesi ve bunların esas alındığı yeni şartnamelerin hazırlanması çalışmaları da yapılmaktadır.

Ülkemizde de bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmakta olup, Karayolları Genel Müdürlüğünce "Modifiye Bitüm Özel Teknik Şartnamesi" hazırlanmış ve yayımlanmıştır.

Bitümün modifiye edilmesinde kullanılan katkı maddeleri, kimyasal yapılarına, fiziksel yapılarına, modifikasyon tipine, bağlayıcıda yada karışım üzerindeki etkilerine göre ve bunun gibi olmak üzere çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalar ile çeşitli yayınlarda verilen yaygın katkı maddeleri ve bunların bağlayıcı ve karışım üzerindeki etkileri sonraki bölümlerde verilmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde olmak üzere, çok sayıdaki firma, çok çeşitli katkı maddelerini piyasaya sürmektedirler. Aynı yada farklı sınıftan olan bu çok çeşitli katkı maddeleri ile modifiye edilen asfaltların çeşitli laboratuvar ölçmelerine dayanan özellikleri verilmekte, ancak pek azının saha deneme sonuçları bulunmakta, bu sonuçların da yeterli deneme sürelerini kapsamadığı görülmektedir. Dünyada bugüne kadar yapılan çalışmalardan modifiyerlerin etkilerinin belirlenmesi için daha uzun süreli (5 yıldan fazla) saha incelemelerine ihtiyaç duyulduğu bu konudaki bilimsel yayınlarda önemle vurgulanmaktadır.

Son yıllarda oldukça yoğunlaşan modifiye bitümler konusundaki araştırmalar ve çalışmalarda bitümlerin polimer katkı maddeleriyle modifiye edilmesinin ön plana çıktığı görülmekte ve hatta katkı maddelerinin polimer olanlar yada polimer olmayanlar olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir.

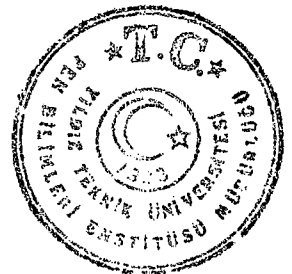


İngiltere de bir otoyol şeridinin bir günlük kapanmasının maliyeti yaklaşık 20 000 pound (9 Milyar TL) olarak verilmektedir (Whiteoak,1991). Ülkemizdeki mevcut trafik yükleri (şehirlerarası yollarımızın çoğunda ağır taşıt oranı %50 yi geçmektedir) nedeniyle yollarımızdaki bozulmaların daha kısa sürelerde meydana geldiği bilinmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında, üstyapıda görülen bozulmaları geciktirerek, bakım ve yenileme gereksiniminin daha seyrek aralıklarda yapılabilecek hale getirilmesinde çözüm oluşturabileceği düşünülen “Modifiye Bitümler” konusu ülkemiz için çok daha önemli hale gelmektedir.

Ayrıca, bitüm modifiyerlerinin üstyapı performansına etkilerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için gerek modifiye bağlayıcının ve gerekse karışımın test ve kontrol yöntemleri belirlenerek, uygun şartnamelerin hazırlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ülkemiz için oldukça yeni bir konu olan modifiye bitümler konusunda, dünyada bugüne kadar yapılan çalışmalar, kullanılan katkı maddeleri ve bu katkı maddelerinin üstyapı performansında sağladığı iyileşmeler, yeni test yöntemlerini ve yeni bağlayıcı (bitüm/modifiye bitüm) şartnameleri incelenerek, geniş ve güncel literatür bilgilerinin ülkemize kazandırılmasına çalışılmıştır.

Bu tezin amacı, incelenen literatür bilgileri doğrultusunda seçilen bazı katkı maddeleriyle modifiye edilen bitümlerin (katkısız bitümün ve katkılı bitümlerin) dinamik özellikleri (Kayma modülü, Young modülü), sıcaklık-yaşlanma (üretim ve servis yaşlanması) ilişkileri ile bu bağlayıcılarla (katkısız ve katkılı) oluşturulan kaplama karışımlarının yük-deformasyon, yük tekerrürü-yorulma, sıcaklık-rijitlik modülleri ilişkilerini araştırmak ve sonuç olarak da bu araştırma ve çalışmalardan elde edilen bilgilerle bir yorulma eğrisi modeli oluşturmaktır.



BÖLÜM 2

BİTÜMLÜ BAĞLAYICILAR

2.1 Bitümün Terminolojisi

Asfalt (Asphalt) sözcüğü, Akad terimi olan Asphaltu veya çatlamak, yarılmak anlamındaki sphalla'dan türetilmiştir.

Eski Yunan'da ve eski çağlarda yaşayan insanlar tarafından cisimlerin birbiriyle çimento tabiatında bağlanması, sabitleştirilmesi, tesbit edilmesi anlamında uygulamanın bir ifadesi olarak kullanılmıştır. Daha sonra sözcük latinceye, giderek Fransızca ve İngilizce'ye "Asphalt" olarak geçmiştir.

Bitüm (Bitümen) deyiminin orijini ise Sanskritçe'dir. Sanskritçe'de zift (Pitch) anlamındaki Jatu, "Mamül Zift" anlamındaki "Jatu-Krit" den gelmektedir. Latince'de bunun karşılığı "Zifte Ait" anlamındaki "Guitu-men" sözcüğü orjin olup, diğer bir deyimle "kaynamış zift" anlamındaki Pixumen sözcüğü giderek Bitümen şeklinde İngilizce ve Fransızca dilinde benimsenmiş ve kullanıla gelmiştir (Ürünay, 1974).

2.2 Bitümün Tarihçesi

Asfalt, mühendislikte kullanılan en eski yapı malzemesi olarak bilinmektedir.

Milattan önce 3200-540 yıllarında Mezopotamya ve İndus vadisinde kurulmuş çeşitli uygarlıklarda, asfaltın çimento gibi bağlayıcı harç olarak; bina duvarlarının yapımında, merdiven ve döşemeler ile yolların kaplanmasında, su depoları, su arkları ve hamamların yalıtımında kullanıldığı yapılan Arkeolojik kazılardan anlaşılmıştır.

Bazı kutsal kitaplarda Nuh Peygamberin yaptığı gemiyi asfaltla kalafatladığı, Hazreti Musa'nın bebek iken içine konularak Nil Nehri'ne bırakılan sepetin asfalt ile yalıtıldığı kabul



edilmektedir. Ancak eski uygarlıklarda kullanılan bu asfaltların petrol yataklarının jeolojik olay ve proseslerin etkisiyle, doğal bir yol ile destilasyona uğrayarak oluşmuş asfalt göl, kuyu ve pınarlarından temin edilmiş olduğu açıktır. Nitekim, bugün Dünya petrolünün temin edildiği bu zengin bölgeler, doğal asfaltların bulunduğu ve değerlendirilerek uygulandığı ilk uygarlıkların kurulduğu bölgelerdir (Ürünay 1974).

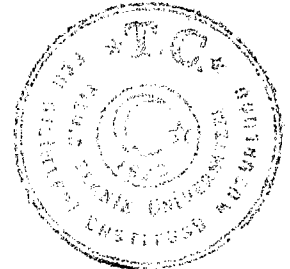
Bitümlü malzeme ile ilgili modern endüstrinin doğuşu 18. yüzyılın ortalarında özellikle, maden kömürü ile odunun destilasyon ürünü olan katranların patentli rafinasyon çalışmalarıyla başlar. 1802'de Fransa'da, 1838'de Amerika Birleşik Devletleri'nde kaya asfaltlarıyla tretuvar, köprü döşeme kaplamalarının yapıldığı bilinmektedir. 1932'de İngiltere'de katranlı makadam yol kaplaması, 1835-1836'da Paris ve Londra'da ilk mastik döşeme kaplaması yapılmıştır.

Ayrıca, 1820'de İsviçre'de asfaltla doyurulmuş kağıt imalatı, 1838'de İngiltere'de ahşap malzemelerinin kömür katranı ve kreozotla doyurulduğu, 1844-1847 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk defa çam katranı ve zift ile kum kullanılarak çatı yalıtım malzemesi imal edilip kullanıldığı bilinmektedir (Ürünay, 1974).

Yol kaplamalarında başlangıçta kömür katranı kullanılarak az miktarda makadam yollar yapılmıştır. 1890'lardan sonra bisikletlerin ve otomobillerin günlük hayata girmesiyle, yüksek hız, makadam yollarda toz bulutlarına sebep olunca, katranlı makadam ve sathi kaplama inşaatı hızlanmıştır (Yağız vd., 1967).

19. Yüzyılın ikinci yarısında sondaj yöntemlerindeki gelişmelerin sonucu olarak Petrol endüstrisindeki çabuk ve büyük gelişme, hem doğal asfaltların kullanılabilir hale getirilmesini sağlamış, hem de yeni bir bitümlü malzeme kaynağını ortaya çıkarmıştır.

Günümüzde, mekanizasyondaki büyük gelişmeler bitümlü yol karışımlarının üretilmesi ve kullanılmasını kolaylaştırmıştır, buna bağlı olarak'ta bitüm tüketimi her geçen yıl hızla artmaktadır.



2.3 Bitümün Orijini

Bitüm, genel olarak doğal kaynaklıdır. Dünyada en zengin bitüm kaynağı hiç kuşkusuz ham petroldür. Bunun yanında jeolojik kuvvetlerin etkisiyle, bazı doğal olaylarla petrolden meydana geldiği kabul edilen ve çoğunlukla mineral agrega ile karışmış halde bulunan tabii asfaltları da gözden uzak tutmamak gerekir. Bundan başka diğer bir zengin kaynak da, katranların temin edildiği kömür ve linyitlerdir (Ürünay, 1974).

Kömür ve linyitin oluşumu hakkında tartışma söz konusu olmamakla beraber, petrolün oluşumu için çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Kesin olan husus, petrol oluşumunun anorganik teoriye dayanmadığıdır. Kimyasal yapısı organik olan petrolün son zamanlarda kabul edilen oluşumu hayvansal teoriye dayanmaktadır. Bu teoriye göre milyonlarca yıl süren bakteri faaliyeti ile hayvansal mayaların, özellikle deniz hayvanlarının yüksek ısı ve basınç altında, bitki birikimlerinin örtülmüş olduğu çok ince mineral daneciklerin katalitik etkisi ile petrole dönüşmüş olmasıdır (Ürünay, 1974).

Pratikte, petroler kimyasal yapıları ve fiziksel görünümünün farklılığı nedeniyle, Parafinik ve Asfaltik bazlı olmak üzere ikiye ayrılırlar:

Asfaltik bazlı petrolerde bitüm nispeti çok yüksek olup, büyük molekül ağırlıklı aromatik ve naftenik yapıdaki hidro-karbonatlardan teşekkül etmiştir (Kafkas ve Asya petroleri gibi).

Parafinik bazlı petroler ise, basit parafinik bileşikler ile molekül ağırlığı büyük alifatik parafinleri ihtiva ederler (Amerika petroleri gibi) (Ürünay, 1974).

2.4 Bitümün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

En basit bir deyimle organik esaslı olan asfalt ve katranlar, yüksek molekülü hidrokarbonlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca, genel olarak saf bitümlerin daha ziyade Alifatik, katranların ise Aromatik bünyeli oldukları da kabul edilmiştir (Ürünay, 1974).

Asfaltların kimyasal yapıları, katranlara nazaran daha karmaşıktır ve daha az bilinmektedir. Ayrıca katranın aksine, rafineri asfaltlarının kimyasal özellikleri orijinal kaynağı olan ham



petrolün özelliklerine çok sıkı bağlıdır. Asfaltik bitümler, prensip itibariyle hidro-karbon bileşimlerinden meydana gelmiş iseler de, bu hidro-karbonların molekül ağırlıkları ve kimyasal karakteristikleri itibariyle birbirinden farklı gruplara ayrılabilir (Ürünay, 1974).

Ham petrolün bitümlü ürünlerinin element analizleri sonucunda bitümlerin kompozisyonu Çizelge 2.1' de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Bitümün kimyasal kompozisyonu (Morgan ve Mulder, 1995).

Element	Kütle yoğunluk % si
Karbon	82-88
Hidrojen	8-11
Sülfür	0-6
Oksijen	0-1.5
Nitrojen	0-1

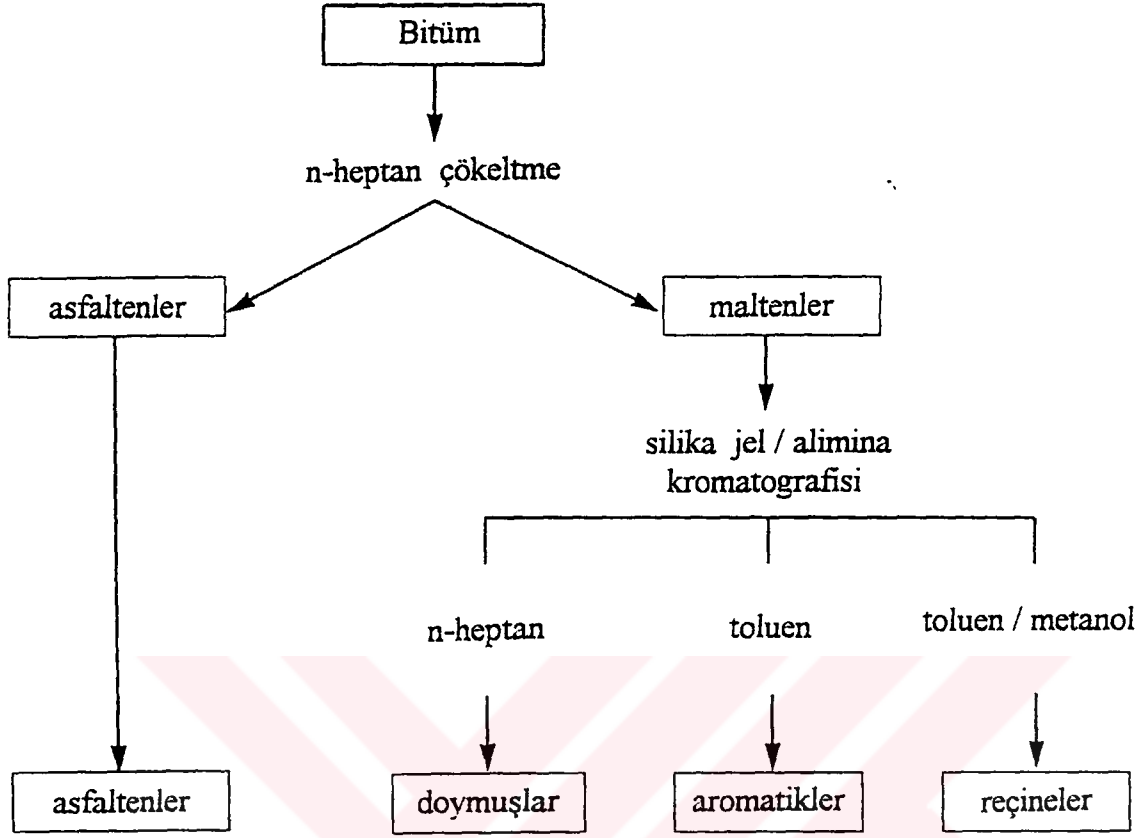
Asfalt (Bitüm) termoplastik bir malzeme olması yanında, aynı zamanda reolojik bir malzemedir.

Bitümleri fraksiyonlarına ayırmak için kullanılan mevcut yöntemler şu şekilde sıralanabilir (Morgan ve Mulder, 1995).

- solvent ekstraksiyonu;
- ince katılara bölünerek absorpsiyon ve absorbe edilmeyen solüsyonun filtreye ayrılması;
- kromatografi;
- moleküler destilasyon (damıtma).

Kromatografik yöntemin bir şematik temsili Şekil 2.1' de gösterilmektedir. Asfalt molekül ağırlıkları farklı hidrokarbonların kompleks bir karışımı olup n-heptan'da çözülen kısmına malten, çözülmeyen kısma ise asfalten adı verilir (Keyvanklıoğlu, 1996).





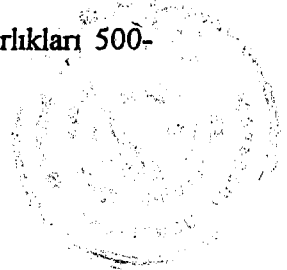
Şekil 2.1. Bitümlerdeki kimyasal yapının şematik dağılımı (Morgan ve Mulder,1995).

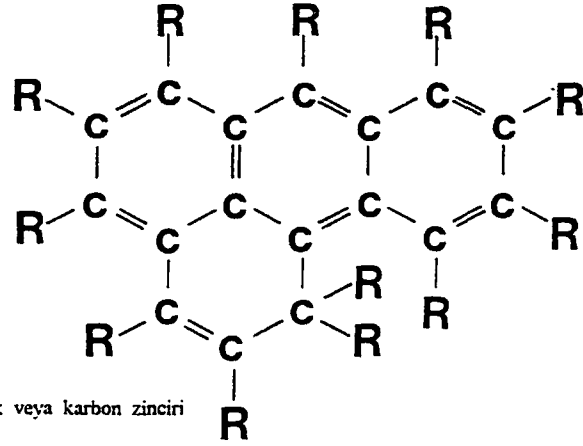
Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi maltenler fraksiyonlarına ayrıldığında ise;

- 1- Reçineler,
- 2- Aromatikler,
- 3- Doymuş hidrokarbonlar elde edilir (Keyvanklioğlu, 1996).

2.4.1 Asfaltenerler

Gri siyah renkte olup, n-heptan da çözünmezler. Asfaltenerler genellikle, yüksek molekül ağırlıklarıyla oldukça polar ve kompleks aromatik metaryellerdir. Molekül ağırlıkları 500-100 000 arasında değişmektedir (Keyvanklioğlu, 1996).





Şekil 2.2- Asfaltenin kimyasal yapısı (Morgan ve Mulder, 1995).

Asfaltener bitümün % 5-25'ini meydana getirirler. Bitümün asfaltin içeriği kesin limitleri aşmamalıdır. Yaşlanma sırasında reçineler yavaş yavaş asfaltenerlere dönüşür ve asfaltın istenmeyen sonuçlarının ortaya çıkmasına sebep olur (Que vd., 1991).

Bitümün asfaltin içeriği arttığı zaman bitümler daha sert, daha viskoz, daha düşük penetrasyon, daha yüksek yumuşama noktası değerlerine sahip olurlar (Morgan ve Mulder, 1995). Şekil 2.2'de Asfaltenerin tipik kimyasal yapısı şematik olarak görülmektedir.

2.4.2 Maltenler

Bitümün n-heptanda çözülen kısmı olan maltenler de üç alt fraksiyona ayrılırlar:

2.4.2.1 Reçineler

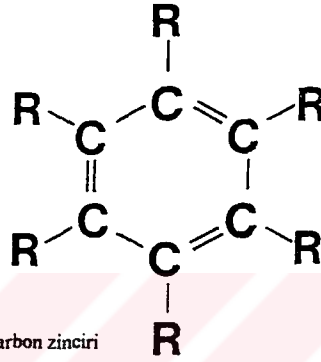
Reçineler n-heptanda çözünürler. Asfaltenerler gibi büyükçe hidrojen ve karbon ile küçük miktarlarda oksijen, sülfür ve nitrojen içeriğinden oluşurlar. Koyu kahve renkli, katı yada yarı-katı ve oldukça polar haldedirler. Bu karakter reçinelerin kuvvetli adezyona sahip



olmasını sağlar. Molekül ağırlıkları 500 - 50 000, bir partikül boyutu 1-5 nm ve bir H/C atom oranı 1.3 - 1.4 arasındadır.

2.4.2.2 Aromatikler

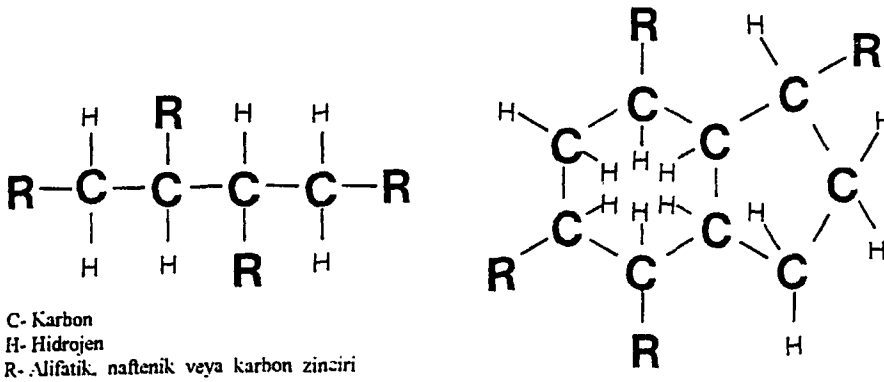
Koyu kahverenkli viskoz yağ şeklindedirler. Bitümün %40-65'ini meydana getirirler, Molekül ağırlıkları 300 - 2 000 arasında değişmektedir. Şekil 2.3'de aromatiklerin kimyasal yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



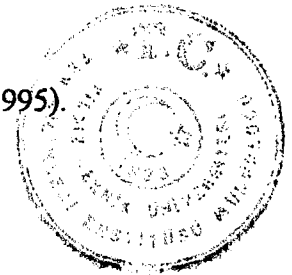
Şekil 2.3 Aromatiklerin kimyasal yapısı (Morgan ve Mulder, 1995).

2.4.2.3 Doymuş hidrokarbonlar

Bu grup renksiz yağlı yapıda olup parafinik ve naftenik yağ halkalarını içerir. Molekül ağırlıkları 300 - 2 000 arasında değişmektedir. Bu fraksiyon bitümün % 5-20'sini meydana getirirler. Şekil 2.4'de bir doymuş'un kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.4 Doymuş hidrokarbonun kimyasal yapısı (Morgan ve Mulder, 1995).



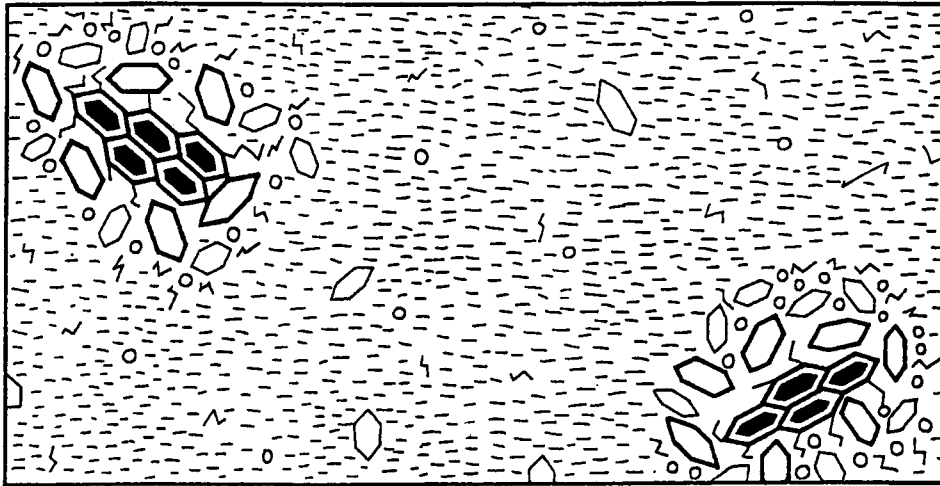
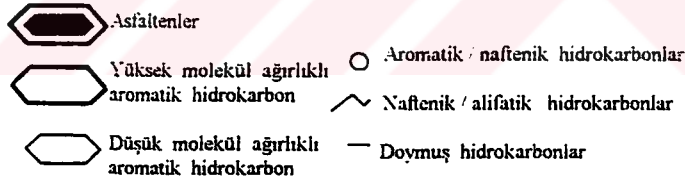
Bitümün yapısını oluşturan, yukarıdaki dört grubun bir element analizi 100 penetrasyonlu bitüm için Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 100 penetrasyonlu bitümün dört yapı grubunun tipik bir element analizi (Morgan ve Mulder, 1995).

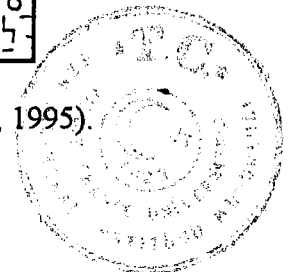
Bitümün Yapı Grupları	Bitümdeki Yapı Grupları % si	Karbon %	Hidrojen %	Nitrojen %	Sülfür %	Oksijen %	Atomik Oran H/C	Molekül Ağırlığı
Asfaltenerler (n-heptan)	5,7	82,0	7,3	1,0	7,8	0,8	1,1	11 300
Reçineler	19,8	81,6	9,1	1,0	5,2	-	1,4	1 270
Aromatikler	62,4	83,3	10,4	0,1	5,6	-	1,5	870
Doymuşlar	9,6	85,6	13,2	0,05	0,3	-	1,8	835

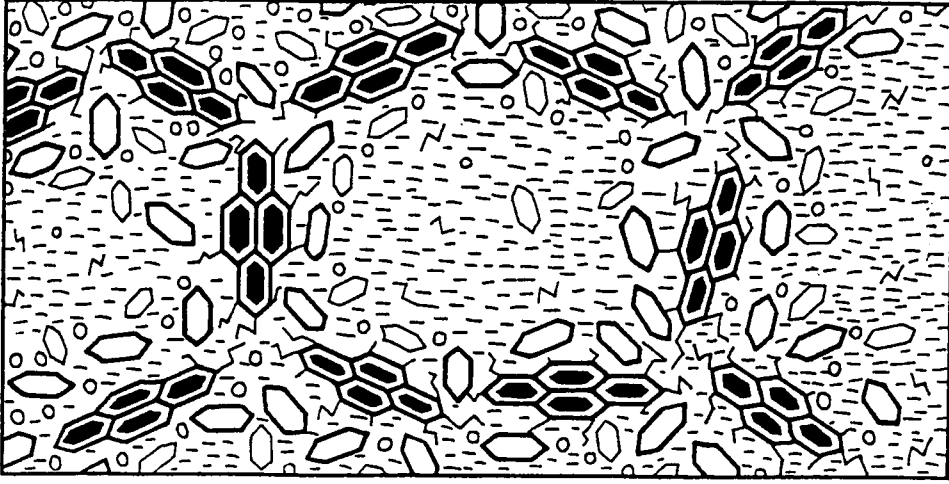
Asfalt kimyaca, asfaltener çekirdeği etrafında Malten adı verilen reçine ve yağ üçlüsünden oluşan koloidal süspansiyon halindedir.

Bu koloidal süspansiyonun teşekkül tarzındaki kimyasal değişiklik, asfaltın reolojik özelliği olan viskozitesini (akıcılığını) etkilemektedir



Şekil 2.5 “Sol” tip bitümün şematik olarak gösterilmesi (Morgan ve Mulder, 1995).





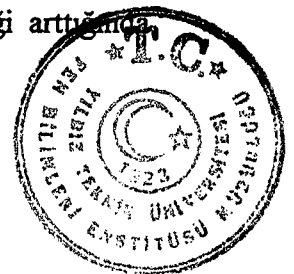
Şekil 2.6 “Jel” tip bitümün şematik olarak gösterilmesi(Morgan ve Mulder, 1995).

Özet olarak, özellikleri bakımından asfaltlar iki tipte değerlendirilebilirler. Birinci tipe sol tipi asfalt denir ki, bu tipte asfaltlar, malten içinde çok iyi bir şekilde yayılıp dağılmıştır (penetrasyon asfaltlar). İkincisi jel tipi asfaltlardır. Bu tipte de asfaltlar malten içinde az olarak yayılmış, daha ziyade kümelenmeye doğru giden bir yapı gösterir. Ayrıca, maltenin yapısı, asfaltlara kıyasla naftenik veya parafinik karakter gösterir. Okside asfaltlar, jel tipi asfaltlara örnek olarak gösterilebilir (Ürünay, 1974). Şekil 2.5 ‘de “Sol” tipi asfaltlar, şekil 2.6’da da “Jel” tipi asfaltlar şematik olarak gösterilmiştir.

2.5 Bitümün Yapısı ve Reolojisi arasındaki İlişkiler

Bitümü oluşturan, doymuşlar, aromatikler, reçineler ve asfaltın fraksiyonlarının sistematik karışımı, bitümün reolojisinin yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Asfaltın içeriği değiştirildiğinde:

- Aromatik içeriği arttığında doymuşların reçinelere olan sabit oranı reoloji üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Diğer bir etki, makaslama hassasiyetindeki marjinal bir azalma,
- Reçinelerin aromatikliğe olan sabit oranı korunduğunda ve doymuşlar içeriği arttığında yumuşak bitüm,

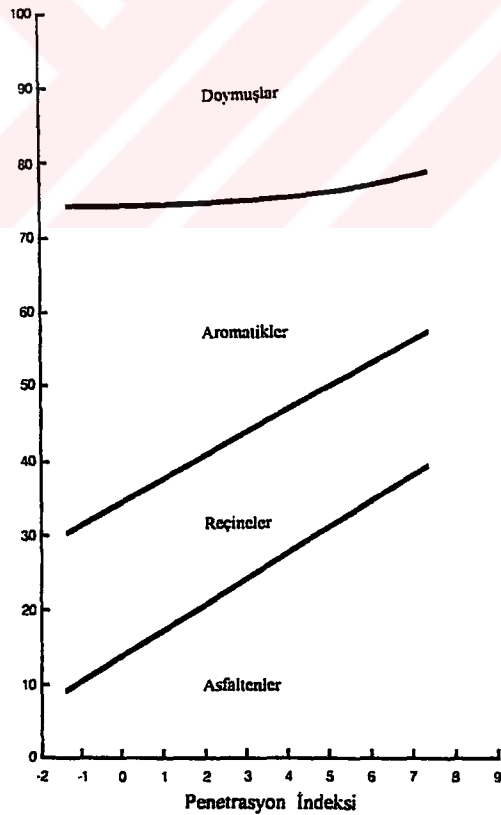


•Sert bitüme reçine eklendiğinde, penetrasyon indeksinde ve makaslama hassasiyetinde azalma fakat viskozitede yükselme olduğunu göstermiştir (Morgan ve Mulder, 1995). Böylece şu görülmektedir ki bitümün reolojik özellikleri asfaltın içeriğine kuvvetlice bağlıdır (Morgan ve Mulder, 1995).

Buradan şu anlaşılmaktadır ki, asfalt karışımların davranışı asfaltın reolojisi ile doğrudan ilişkili olup, yükleme süresi ve sıcaklık reolojisi etkileyen faktörlerdir (Çelik, 1996).

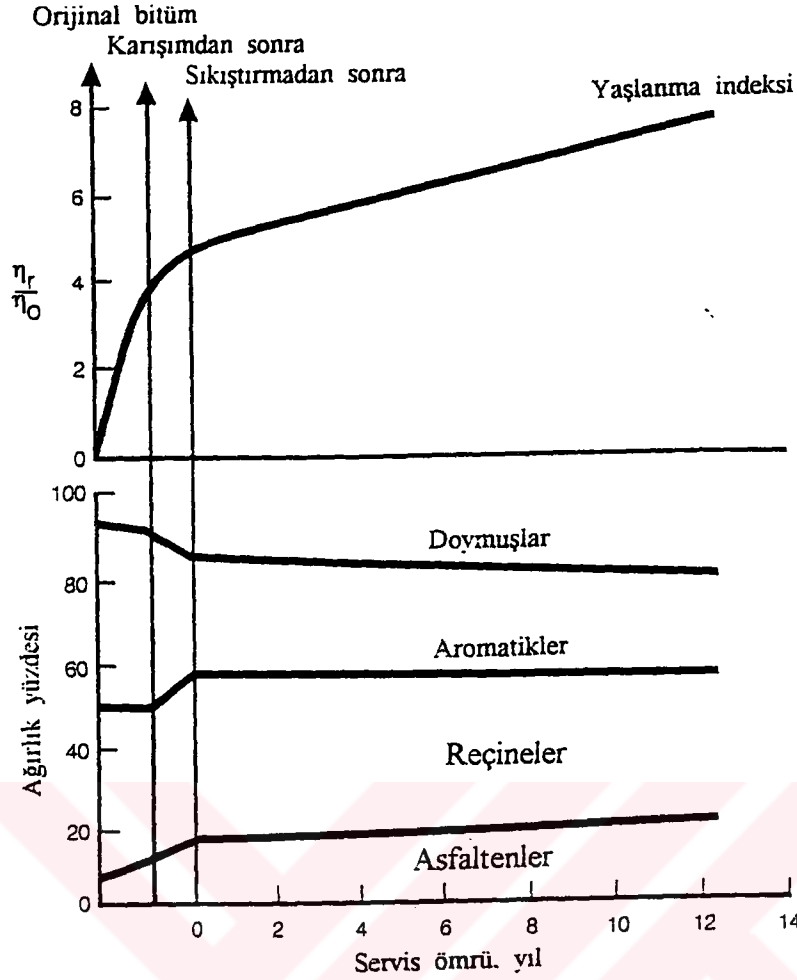
2.6 Bitümün Yapısı ve Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki

Atmosferik ve vakum distilasyonu (damıtması) bitüm besleme stoklarında hafif bileşenleri yer değiştirir. Verilen bir vakumdan yada akış vakumundan bitümlerden hava geçmesi kararlı olarak asfaltın içeriğinin artmasına ve aromatik içeriğinin de azalmasına sebep olur (Morgan ve Mulder, 1995).



Şekil 2.7 Bitümün kimyasal yapısı ve penetrasyon indeksi arasındaki ilişki (Morgan ve Mulder, 1995)





Şekil 2.8. Karıştırma, serme ve servis sırasında bitümün yapısındaki değişme (Morgan ve Mulder, 1995).

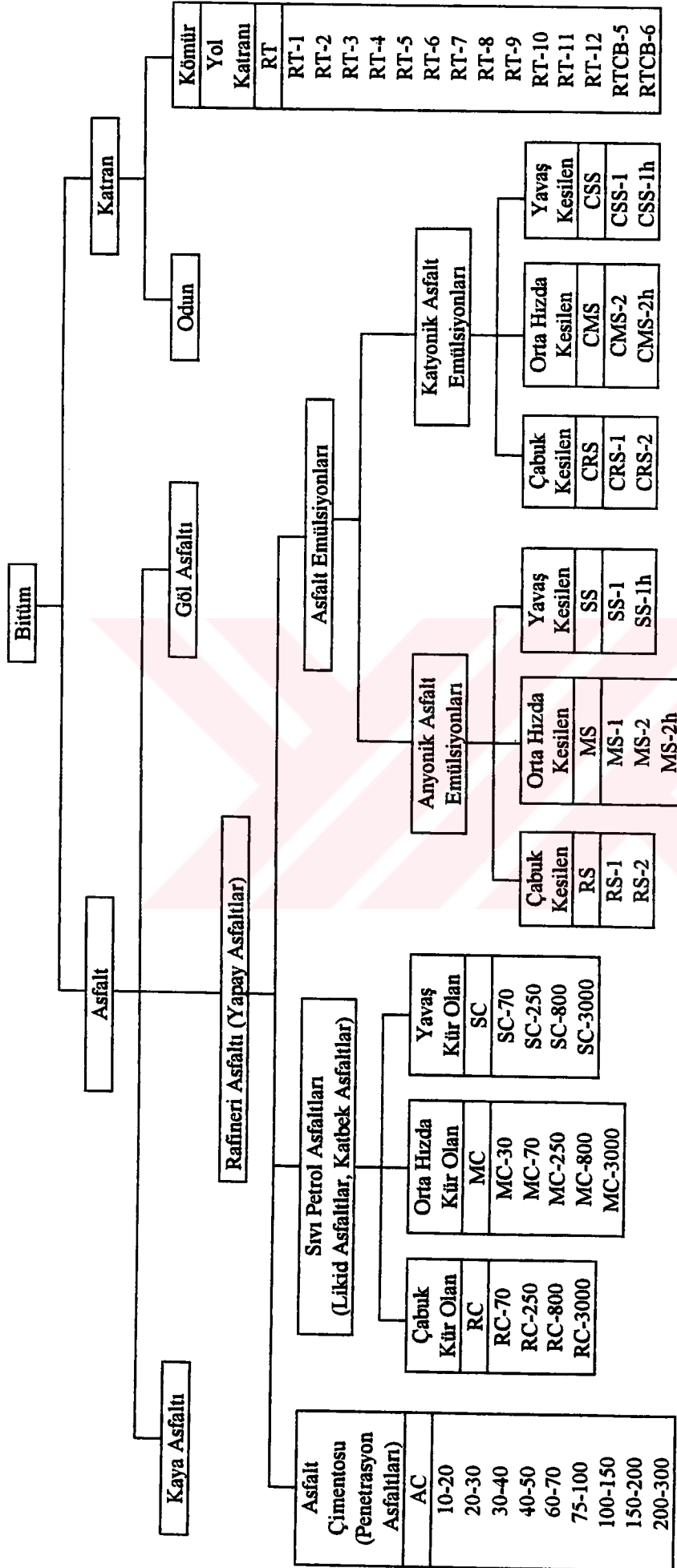
Şekil 1.7' de bitümün kimyasal yapısı ve penetrasyon indeksi arasındaki ilişki, Şekil 1.8' de de asfalt üretimi sırasında ve servis sırasında bitümün yapısındaki değişme görülmektedir.

2.7 Yol Malzemesi Olarak Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı veya pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle meydana gelen ergime sonucu oluşan) hidrokarbonların bir karışımı yada bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup çok defa bunların gaz, sıvı, yarı-katı veya katı halde olabilen, metal dışı türevleri ile bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözülen madde olarak tanımlanır (Keçeciler vd., 1988).

Yol malzemesi olarak kullanılan bitümlü malzemelerin çeşitleri Şekil 2.9' da gösterilmiştir. Esas olarak Asfaltlar ve Katranlar olarak ikiye ayrılırlar;





Şekil 2.9 Yol malzemesi olarak bitüm çeşitleri



2.7.1 Asfalt

Koyu kahverenk'ten - siyaha kadar değişen, kuvvetli bağlayıcı özelliği olan, kıvamlılık bakımından katı, yarı-katı veya sıvı halde olabilen, doğal halde bulunan veya ham petrolün arıtılmasından elde edilen ve başlıca hidrokarbonlardan oluşan bir maddedir. Asfaltlar, kökenlerine göre doğal asfaltlar ve yapay asfaltlar olarak iki gruba ayrılabilir

2.7.1.1 Doğal asfaltlar

Doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Kullanılabilir hale getirmek için bir takım işlemlerden geçirmek gerekir.

2.7.1.2 Yapay asfaltlar

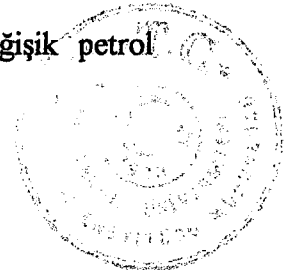
Ham petrolün arıtılmasından elde edilirler.

Petrol kuyularından çıkarılan ham petrol rafinerilerden pompalarla tanklara, buradan da ısıtma kulelerine gönderilerek sıcaklığı yükseltilir, daha sonra damıtma kulelerine gelir. Kolay uçucu olan kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Bunlar hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar aynı şekilde orta ürünleri, en ağır uçanlar ise ağır ürünleri meydana getirirler (Keçeciler vd.,1988).

Başlıca asfaltı içeren kalıntı maddeleri ise kulenin dibinde birikir. Bu şekilde ham petrol başlıca beş kısma ayrılmış olur:

- 1-Benzin (Gazolin),
- 2-Gaz yağı (Kerosen),
- 3-Dizel yağları (Mazot),
- 4-Yağlama yağları,
- 5-Ağır kalıntı maddeleri.

Bunların hepsine gerektiğinde tekrar damıtma işlemi uygulanarak daha değişik petrol ürünleri elde edilir (Keçeciler vd., 1988).



2.7.1.2.1 Asfalt çimentoları (AC)

Kalıntı maddelerinin daha ileri damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. Şartların değiştirilmesiyle istenilen penetrasyonda asfalt çimentosu elde edilir.

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır.

AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar (Keçeciler vd., 1988).

2.7.1.2.2 Sıvı petrol asfaltları

Bunlar, asfalt çimentosu ile kaynama noktası düşük, yani kolay uçan bir çözücü (benzin, nafta) ile karıştırılarak çabuk kür olan RC Sıvı Petrol Asfaltları, orta derecede uçucu bir çözücünün (gaz yağı) karıştırılması ile orta hızda kür olan MC Sıvı Petrol Asfaltları ve ağır yağlarla inceltilerek yavaş kür olan SC Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir.

Ayrıca sıvı petrol asfaltlarının her biri kendi aralarında kinematik viskozite değerlerine göre tiplere ayrılırlar. Sıvı petrol asfaltları, asfalt malzemesi ve çimentolu temel tabakaların yüzeylerinde kür malzemesi olarak kullanılırlar (Keçeciler vd., 1988).

2.7.1.2.3 Asfalt emülsiyonları

Emülsiyon, bir biri içinde çözünemeyen iki sıvıdan birinin diğeri içerisinde küçük küre tanecikleri halinde homojen olarak dağılmasıdır.

Asfalt emülsiyonları da asfalt çimentosu küreciklerinin su içinde dağılmasından oluşur. Bu işlem mekanik olarak yapılır, ancak asfalt küreciklerinin birbirine yapışarak sudan ayrılmalarını önlemek için emülgatör (emülsiyon verici madde) denilen bazı katkı maddeleri kullanılır.



Asfalt emülsiyonları emülgatörün cinsine göre ikiye ayrılır:

- 1-Anyonik asfalt emülsiyonları,
- 2-Katyonik asfalt emülsiyonları.

Bir asfalt emülsiyonu agrega ile karıştırıldığı veya bir yolun yüzeyine püskürtüldüğünde emülsiyon kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agreganın üzerine yapışır. Serbest kalan su buharlaşır. Yolda kullanılan asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre:

- 1-Çabuk kesilen RS asfalt emülsiyonları,
- 2-Orta hızda kesilen MS asfalt emülsiyonları,
- 3-Yavaş kesilen SS asfalt emülsiyonları olarak üçe ayrılırlar (Keçeciler vd., 1988).

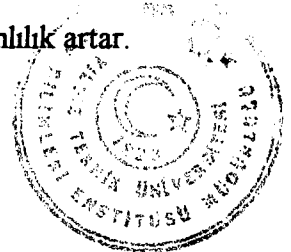
Asfalt emülsiyonlarının, dünyadaki kullanım miktarları her geçen yıl hızla artmaktadır. Ancak ülkemizde asfalt emülsiyonu tüketimi istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Asfalt emülsiyonları belli başlı olarak;

- 1-Sathi kaplamalarda,
- 2-Karışım kaplamalarda,
- 3-Harç kaplamalarda,
- 4-Yama ve tamir işlerinde,
- 5-Penetrasyon makadam yol kaplamalarında, kullanılmaktadır (KAV, 1992).

2.7.2 Katran

Katran, başlıca kömürün ve odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir. Bu şekilde elde edilen katrana ham katran denir. Genellikle, katran bu şekli ile değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan katranın kömür kökenli olması tercih edilir.

RT sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre RT-1, RT-2 RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Numaralar büyüdükçe kıvamlılık artar.



BÜLÜM 3

BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN TEST YÖNTEMLERİ ve BAĞLAYICI ŞARTNAMESLERİ

3.1 Test Yöntemleri

Esnek yol üstyapılarında kullanılan bitümlerin özelliklerini belirlemek amacıyla uygulanan çok sayıda geleneksel test yöntemleri bulunmaktadır. Bu test yöntemleri aynı zamanda modifiye bitümlerin özelliklerinin tespiti için de kullanılmaktadır.

Ancak, bağlayıcı ile üstyapı karışımının performansı arasındaki ilişkiyi daha doğru bir şekilde ortaya koyabilmek bakımından zamanımızın teknolojik olanaklarından da yararlanarak geleneksel test yöntemlerinde ve test prosedürlerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bununla beraber bağlayıcıya ve modifiye bağlayıcıya yönelik testlerde ve özellikle de esnek üstyapı karışımlarının performans özelliklerinin belirlenmesine yönelik testlerde yeni yöntemler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Bu yöntemler ASTM, DIN ve bunun gibi diğer standartizasyon otoriteleri tarafından standartize edilmektedir (Isacsson ve Lu, 1995) (Francken, 1997).

Modifiye bağlayıcıya yapılan testler, deney şartlarında yapılan bazı değişikliklerle, geleneksel standart yöntemlerin değişik versiyonlarına göre verimleri artırılmaya çalışılmaktadır (Isocssan ve Lu, 1995). Modifiye bağlayıcıların, özellikle gerilme ve elastik özelliklerinin izahında geleneksel test yöntemlerinin yetersiz kalması nedeniyle, çeşitli yeni test prosedürleri geliştirilerek, modifiye bağlayıcı karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Francken, 1997).

Bu bölümde, modifiye bağlayıcıyı test etmek için kullanılan olası yöntemler izah edilmeye çalışılmaktadır. Aşağıda görülebileceği gibi, literatürlerde çok sayıda test prosedürleri izah edilmektedir. Bu test yöntemlerinin aşağıdaki listesinin tam olmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak, bu listenin uygulamalardaki gerekli test yöntemlerinin



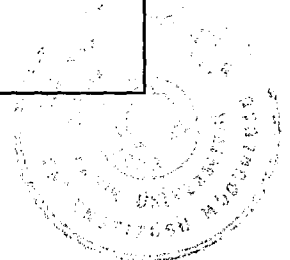
çoğunluğunu içerdiği iddia edilebilir. Şu da ayrıca belirtilmektedir ki, verilen test prosedürlerinin sık sık değiştirilmesi önerilmektedir. Burada, farklı test yöntemleri, sırasıyla; standart ve standart olmayan test yöntemleri olarak iki gruba ayrılarak verilmektedir (Francken, 1997).

Çizelge 3.1 ve 3.2’ de görüldüğü gibi, bu farklı gruplar öteki alt gruplara ayrılmaktadır. Standart test yöntemlerinin (Çizelge 3.1) standart referansları çizelgede verilmiştir. Standart olmayan test yöntemlerinin (Çizelge 3.2) her birinin izahatı aşağıdaki bölümlerde ayrıca verilmektedir.

Çizelge 3.1 ve 3.2’ de verilen test yöntemleri sadece bağlayıcıya yönelik testler olup karışıma yönelik testleri içermemektedir.

Çizelge 3.1 Standart test yöntemleri (Francken, 1997).

Test tipi	Standart koşullar	Referans
1. Reolojik Testler		
Penetrasyon (dmm)	25 °C, 5 s, 100 g	ASTM D 5
Yumuşama Noktası, R&B (°C)		ASTM D 36
Frass Kırılma Noktası (°C)		IP 80
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	135 °C	ASTM D 2170
Dinamik Viskozite (Pas)	60 °C	ASTM D 2171
Viskozite (Koni ve Plaka viskozimetresi ile)		ASTM D 3205
Viskozite (Brokfield Viskozimetresi ile)		ASTM D 4402
Duktilite (cm.)	25 °C, 5 cm/min	ASTM D 113
Çekme testi	23 °C, 50 cm/min	ASTM D 412
Yüzme testi	5 °C	ASTM D 139
2. Yaşlanma Testleri		
İnce Film Halinde Isıtma Testi (TFOT, ağırlıkça %)	163 °C, 5 h	ASTM D 1754
Dönem İnce Film Halinde Isıtma Testi(RTFOT, ağırlıkça %)	163 °C, 75 min	ASTM D 2872
Dönen Flask	165 °C, 2,5 h	DIN 52016
3. Çözünürlük Testi		ASTM D 2042
4. Parlama Noktası Testi		
Kleveland Açık Kap Testi (COC Test)		ASTM D 92
Penski-Marten Kapalı Kap Testi (PMCC Test)		ASTM D 93
5. Kimyasal Kompozisyon Analizleri		
ASTM D 4124’egöre		
IP 143’egöre		



Çizelge 3.2 Standart olmayan test yöntemleri (Francken, 1997)

- 1.Uyuşabilirlik Depolama Stabilitesi Testleri**
- 1.1 Tüp Testi (Berenguer vd., 1989; Breuer. 1988c; Fetz vd., 1985; Muncy vd., 1987)
- 1.2 UV Flüoresan Mikroskopisi (Dong, 1989; Grimm, 1989; Lomi vd., 1989)
- 1.3 Kırma Testi (Thyron vd., 1991)
- 2.Reolojik Testler**
- 2.1 Akma Davranışı Testleri**
- A. Akma Testi (Thompson ve Hagman, 1958)
- B. Görünen Viskozite (Denning ve Carswell, 1981)
- C. Mutlak Dinamik Viskozite, Aynı Akslı Silindir ile (Sybilski, 1993)
- D. Çift Küre Yumuşama Noktası (Texas Transportation Institute, 1983)
- E. Düşen Küre Testi (Harders, 1988)
- 2.2 Elastik Özellik Testleri**
- A. Elastik Geridönüş Testi, Düktilometre ile (Breuer, 1988b; Muncy vd., 1987; Öster, 1989)
- B. Elastik Geridönüş Testi, Silindirik Plaka Reometresi ile (Tosh vd., 1992)
- C. Elastik Geridönüş Testi, ARRB Elastometresi ile (Oliver vd., 1988)
- D. Elastik Geridönüş Testi, Kontrollü Germe Reometresi ile (Jorgensen, 1988)
- E. Elastik Geridönüş Testi, Hopler Kıvamölçeri ile (Svetel, 1985)
- F. Torsiyonel Geridönüş Testi, (Thompson ve Hagman, 1958)
- 2.3 Çekme Gerilmesi Testleri**
- A. Sertlik ve Gevreklik Testi (Benson, 1955)
- B. Sertlik ve Gevreklik Testi, Değiştirilmiş Yöntem (Thompson ve Hagman, 1958)
- C. Sertlik ve Gevreklik Testi, Boussad vd.'ne göre, (1988)
- D. Ekstraksiyon Testi (Woodside ve Lynch, 1989)
- E. Zorlama Duktilesitesi Testi (D-4 P 226; Chaverot, 1989; Verburg ve Molenaar, 1991)
- F. Direkt Çekme Testi, Anderson ve Dongre'e göre, (1993)
- 2.4 Statik Mekanik Testler**
- A. Sertlik Modülü, Kaydırma Plakası Reometresi ile (Tosh vd., 1992)
- B. Sertlik Modülü, Kiriş Eğme Reometresi ile (SHRP Test Yöntemi B -002, 1993)
- 2.5 Dinamik Mekanik Testler**
- A. Test Prosedürü Jovanovic vd.'e göre, (1993)
- B. Test Prosedürü De Ferraris vd.'e göre, (1993)
- C. Test Prosedürü Cavaliere vd.'e göre, (1993)
- D. Mekanik Isı Analizi Test Yöntemi (Khalid ve Davies, 1993)
- E. Kontrollü Germe Reometresi Test Yöntemi (Jorgensen, 1993)
- F. Balans Reometresi Test Yöntemi (Kolb, 1985)
- G. Makaslama Reometresi Test Yöntemi (SHRP Test Yöntemi B-003, 1993)
- 3.Andezyon/Kohezyon Testleri**
- 3.1 Vialit Test (King, Muncy ve Prudhomme, 1986)
- 3.2 Kırılabilirlik Sıcaklığı (Boussad, Muller veTouzard, 1988)
- 3.3 Düşme Sıcaklığı (Breuer, 1988a)
- 3.4 İmalat Testi (Molenaar, 1991)
- 3.5 Kohezyon Testi, Vialit Pandül Tokmağı ile (Bononi, 1988)
- 3.6 Kaynar Su Soyulması Testi (BRRC, 1991)
- 4.Yaşlanma Testi**
- 4.1 Basıncılı Yaşlanma Kabı Testi (SHRP Test Yöntemi B-005, 1993)
- 4.2 Yaşlanma Testi BRRC'ye göre (Choquet ve Verhasselt, 1993)
- 5.Kimyasal analiz Yöntemleri**
- 5.1 Spektroskopik Yöntemler**
- A. İnfrared Spektroskopisi (Choquet vd., 1991, 1992; Fifield vd., 1990, He vd., 1991; Jovanoviç, vd.,1991; Little 1987; SHRP A-004,1990; Öster vd.,1989)
- B. Nükleer Magnetik Rezonans Spektroskopisi (Fifield vd., 1990; Giavarini vd., 1989; Goodrich vd.,1986; Santagata vd.,1993)
- 5.2 Kromatografik Yöntemler**
- A. Gaz Kromatografisi (Fifield vd., 1990; Ruud, 1989)
- B. Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (Fifield vd., 1990; Neubauer, 1988)
- C. İnce Tabaka Kromatografisi- Alev İyonizasyon Dedektörü (Brule vd., 1988; Sherma vd., 1991; Torres vd., 1993)
- D. Jel Nüfuzu Kromatografisi (Fifield vd., 1990; Johansson vd., 1991; Molenaar, 1991)

NOT:Çizelgede belirtilen kaynaklar EK-4'de verilmiştir.

3.1.1 Standardı olmayan test yöntemleri

3.1.1.1 Uyumluluk/depolama stabilitesi testleri

3.1.1.1.1 Tüp testleri

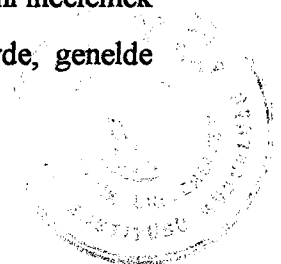
A. Alüminyum kağıt tüp, polimer modifiye bitüm ile doldurularak dik olarak 180 °C, etüv içerisinde 14 gün tutulur ve daha sonra normal hava sıcaklığında soğumaya bırakılır. Alüminyum kağıt numuneden alınarak cam tabak içerisine konur ve 50 °C'deki etüv içerisine yerleştirilir. Bu numune üzerinde, bir uçtan diğer uca üniform olmayan birikinti ve akışlar 24 saatin üzerinde belirli zaman aralıkları içinde incelenir. Polimer ve bitüm birbirine uyum sağlamıyorsa, 180 °C'lik fırın içerisindeyken polimer tüpün en üst kısmında birikecektir. Bu durum, tüp boyunca akan malzemenin akışkanlığında olan farkı gözle görülür bir şekilde ortaya koyacaktır. Eğer polimer ve bitüm tamamen bir uyum içinde iseler akış üniform olacaktır (Muncy vd., 1987).

B. Alüminyum kağıt tüp (3 cm. çapında ve 16 cm. yüksekliğinde) yaklaşık 75 g. polimer modifiye bitüm ile doldurulur. Tüp yaklaşık 50-80 °C arasında bir sıcaklıkta hava almayacak şekilde kapatılarak, dik pozisyonda 180 °C'deki etüv içerisine, 3 günlüğüne bırakılır ve daha sonra en az 30 °C altına getirilir. Alüminyum kağıt tüp soyularak polimer modifiye bitüm test örneği yatay olarak 3 eşit parçaya kesilir. Üst ve taban kısımlar uyumluluk/depolama stabilitesi değerlendirmesi için yumuşama noktası ve/veya penetrasyon testine tabi tutulur.

C. Bu iki test işlemlerinin bir çok değişik şekilleri şu referanslarda bahsedilmiştir (Berenguer ve Caba, 1989; Fetz vd., 1985).

3.1.1.1.2 UV Floresant Mikroskopi (Dong, 1989; Grimm, 1989; Lomi ve Varisco, 1989)

Bu yöntem polimer modifiye bitümlerin uyumluluğunu, görünümünü ve dağılımını incelemek için kullanılır. Mikroskobik seviyede 500 den 1000'e kadar olan büyütmelelerde, genelde



polimer bitümlü bağlayıcılar önemli ölçüde heterojen yapı gösterirler. Polimer-bitüm karışımları arasında polimer matriksinin devamlılığı olan ve içinde polimer parçalarının yayıldığı bağlayıcılar ile polimer parçalarının dağıldığı bitüm matriksi dağılımı arasında farklılık belirlenmiştir. Polimer modifiye bitümün karakteristikleri kapsamında parça ebatlarında dağılımı, polimerin çoğalması imaj analizleri ve matematiksel işlemleri içine alarak değerlendirilebilir. Bu yöntem termik şartlar altında meydana gelecek mikromorfolojik değişikliklerin gözlenmesinde kullanılır.

3.1.1.1.3 Kıрма testi (Thyrion vd., 1991)

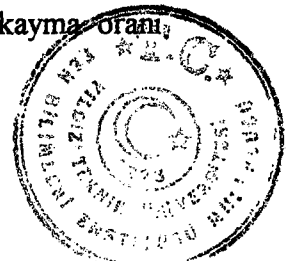
Çap olarak 20.5 mm. ve 2 mm. kalınlığında bitüm-polimer karışım paleti, emici filtre kağıtları arasına yerleştirilir ve üzerine 100 gr. konularak 135 °C'deki etüv içerisinde 15 saat tutulur. Paletin deformasyonu kaydedilir ve karışımın dengesi yağın akışı gözlenerek değerlendirilir.

3.1.1.2 Reolojik testler

3.1.1.2.1 Akma davranışı testleri

A. Akma testleri Thomson ve Hagman (1958) tarafından uygulanmıştır. Numuneler 6 cm x 4 cm x 0,32 cm., paslanmaz çelik veya tunç formunda bir rijit panel içerisinde salgı ajanı kullanılarak yerleştirilir. Sistem oda sıcaklığında 1 saat bırakılır. Kalıp çıkarılarak paneldeki numune, 25 ° C 'deki su banyosunda 1 saat tutulur. Panel üzerindeki numune 38 ° C'de ve relatif olarak yatayla 75 derecelik açıda 1 saat bırakılır. Numune boyundaki değişiklik santimetre biriminde akma olarak kaydedilir.

B. Kayma plaka reometrisi kullanılarak (Denning ve Carswell, 1981) gözle görülebilir viskozite tespitinde; bağlayıcı numunesi 30 x 20 mm ve 3 - 10 mm kalınlıkta iki Alüminyum plaka arasına yerleştirilir. Viskozitenin gözle tespitinde, kayma kuvveti ile kayma oranı birbiri ile mukayese edilir.



C. Ortak eksenli silindirler kullanılarak mutlak dinamik viskozite (Sybilski, 1989) tespiti.

Bu testde, viskozite, ortak eksenli silindirler ile bir viskozimetre kullanılarak kayma oranı (Kayma gerilmeleri) arttırılmasıyla ölçülür. Newtonian olmayan sebeplerden dolayı polimer modifiye bitümlerin pesedoplastik davranışlarının, viskozitedeki azalma ile artan kayma oranına bağlı olduğu görülmüştür. Mutlak viskozite (sıfır kayma oranı) cross eşitliğine göre hesaplanmıştır:

$$\frac{\eta_0 - \eta}{\eta - \eta_\infty} = (K * \gamma)^m$$

veya bunun basitleştirilmiş şekli :

$$\frac{\eta_0 - \eta}{\eta} = (K * \gamma)^m \quad \text{Burada;}$$

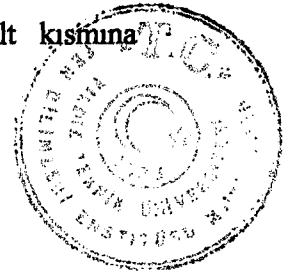
η - Dinamik viskozite,

γ - Kayma oranı,

η_0 ve η_∞ - Düşük ve yüksek kayma oranına bağlı olarak birinci ve ikinci Newton dizisinde dinamik viskozite,

K ve m - Sabit parametreler.

D. Çift küre yumuşama noktası testi (Texas Ulaştırma Enstitüsü, 1983). Bu test ASTM küre ve halka yumuşama noktası test işleminin değiştirilmiş bir versiyonudur. Aparatlar 9,5 mm çapında paslanmaz küre yataklarının test malzemesi ile birbirine yapıştırılmış şeklindedir. Küre yataklarından biri standart halka ve küre sisteminin halka tutucusuna takılmıştır. Diğer küre ise test edilecek malzeme ile aşağı doğru sarkıtılmıştır. Isı, daldırılmış olan sisteme ASTM D 36' da izah edildiği gibi uygulanır. Sıcaklık aparat içerisinde yükselirken alt kısımda bulunan kürenin ağırlığı numuneyi aşağıya doğru germeye başlayacaktır. Çift küreli yumuşama noktası, asılı olan numunelerin ucunda olan kürelerin sistem plakasının alt kısmına eriştiğinde tespit edilen sıcaklıktır.



E. Küre düşürme testi (Harders, 1988). 54 mm. çapında bir kap içerisine 8 gr. bağlayıcı dökülür. Mesafeyi gösteren bir plaka kullanarak, 55 gr. ağırlığında çelik bir küre bağlayıcı içerisine kısmen batırılır. Yumuşama noktasının 15°C altındaki sıcaklıkta 1 saat bırakılır. Hazırlanan sistem ve kap baş aşağı çevrilerek kürenin düşmesi sağlanır. Küreli yatağın 8 mm. düşme zamanı t_1 olarak, toplam olarak kürenin 30 cm. düşme zamanı da t_2 olarak kaydedilerek t_2/t_1 oranı hesaplanır. Normal yol bitümlerinin bu değeri 1 değerinin çok az üzerindedir. Polimer modifiye bağlayıcıların bu değeri 2'nin üzerindedir.

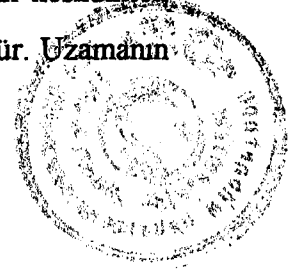
3.1.1.2.2 Elastik geridönüş testleri

A. Düktilometre kullanarak elastik geri dönüş. Pirinç plaka, şekil verme kalıbı ve biriket numune ASTM D 113 veya DIN 52013' de standartize edildiği şekilde hazırlanır. Elastik geridönüş değerleri aşağıda açıklanan değişik şekillerde tespit edilir.

- Alman prosedürü (Brever, 1988b). Test numunesi 25 °C' de 20 cm. ye kadar uzatılarak bir makas ile test numunesinin yarısına bir diş atılır. Elastik geridönüş iki yarıda bulunan dişlerin 30 dakikadaki ayrılma mesafesidir.

- Muncy vd. (1987) tarafından uygulanan işlemde; Düktilometre ve test numunesi 10 °C' de 85-95 dakika tutulur. Test numunesi 20 cm. uzatılarak 5 dakika tutulur ve yarıdan kesilerek 60 dakika hiç dokunulmadan bırakılır, uzamanın geridönüşü yukarıda izah edildiği şekilde (Alman prosedürü) hesaplanır.

- Öster vd. (1989) tarafından uygulanan işlemde; Bitümlü numune düktilite kalıbının içerisine yerleştirilerek oda sıcaklığında 30 dakika tutulur. Bundan sonra su banyosunda 13 °C' de 30 dakika tutulur. Numunenin taşan fazlalıkları kesilir ve 30 dakika aynı ortamda bırakılır. Numune düktilometre içerisine konularak 50 cm. uzatılır. Yarısından kesildikten sonra numune 30 dakika olduğu gibi bırakılır ve dişler arasındaki mesafe ölçülür. Uzamanın geridönüşü yüzde olarak hesaplanır.



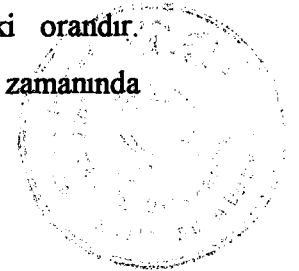
B. Elastik geridönüşün kayan plakalı reometre kullanılarak ölçülmesi (Tash vd., 1992). Bu test için Kayan Plakalı Reometre Shell tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bir bağlayıcı sandviçi iki adet Alüminyum plaka (20 mm x 30 mm x 3 mm) arasında hazırlanır. İki plakadan bir tanesi aparat içine takılır ve diğeri kayma gerilmesine maruz kalacak şekilde bilinen bir döner üzerine konularak, ayarlanabilir gerilme ağırlığıyla deplasman göstercisi üzerine irtibatlanır. Kayma gerilmesi daha önceden belirlenmiş olan miktar kadar azaltılır. Test sıcaklığında (-0 °C ‘den 30°C’ ye kadar) ağırlık uygulanarak seçilmiş olan hassasiyet yani % 50 kart deformasyonu, belirli bir zaman içinde dönerken ağırlığın kaldırılmasıyla elde edilir.

C. Elastik geridönüşün ARRB elastometresi kullanılarak ölçülmesi (Oliver vd., 1988).

Butest işleminde daire şeklindeki numune ilk olarak dış taraftaki, sabit silindir ve içte bulunan hareketli silindir arasında kaymaya maruz bırakılır. Deformasyon seviyesi dairesel boşluk ve (numunenin ince film kalınlığı) iç silindirin yüzeyi arasında kalan boşluk ile tespit edilir. Deformasyon oranı dairesel boşluk ve iç silindirin hızı ile ölçülür. Hareket eden silindir yukarı doğru motor sürücüsü ile seçilen hıza getirilir. Numuneyi deforme etmek için uygulanan kuvvet yük küresi ile ölçülür. Seçilen deplasmana ulaşıldığında sürücü kavramadan ayrılarak numune üzerine gelen kuvvet ortadan kalkar. Deformasyon oranı deplasman göstercisi kullanılarak ölçülen geridönüşür (elastik geridönüş % si). “Gerilme altındaki” zaman ve “geridönüş fazı” elastomer kart çıktısından elde edilir.

D. Elastik geridönüşün kontrollü gerilme reometrisi kullanılarak ölçülmesi (Jagensen, 1988).

Kontrollü Gerilme Reometrisi polimer modifiye bağlayıcının sünme ve elastik özelliklerinin tetkikinde kullanılan bir alettir. Koni ve plaka sensör geometrisiyle numune hacmi 0,5 ml. den daha azdır. Elektronik sıcaklık kontrolü (5 °C - 90 °C) hızlı ısı ayarını mümkün kılar. Temperatur bölgesi seçilecek üniteler ile genişletilebilir (- 100 °C ile 300 °C). Sünme testi işleminde numuneye sabit bir yük uygulanır ve sonuç deformasyon kontrol edilir. Elastik geridönüş geridönen deformasyon ile maksimum deformasyon arasındaki orandır. Reometre, değişik temperatürde, gerilmeye, deformasyon seviyesinde ve gerilme zamanında elastik geridönüşün ölçülmesine imkan verir.



E. Elastik geridönüşün Höppler konsistometresi kullanılarak ölçülmesi (Svetel, 1985). 1 cm. yüksekliğindeki numuneye, 0 °C' de 0,1 MPa basınç, 60 sn için yüklenir. Yüklemeden sonra, deformasyonun 60 sn. sonra geri dönen kısmı ölçülür. Test işlemi ayrıca diğer sıcaklıklarda (-40 °C - +25 °C) ve basınçlarda (0,025 MPa - 1,5 MPa) yapılabilir.

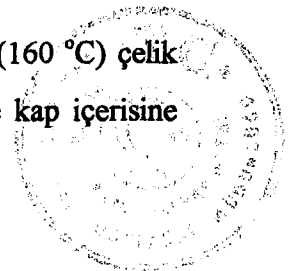
F. Burulma geridönüş testi (Thomson ve Hagman, 1958). Bir silindirik şakul, üzerindeki işarete kadar kap içindeki bağlayıcı numunesine daldırılır. Isı oda suhuneğine gelene kadar beklendikten sonra sistem olduğu gibi 25 °C' ye ayarlı su banyosu içine konur. 90 dakika bu ortamda bekletildikten sonra şakul üzerindeki ibre 180 ° 'lik (yarım daire) göstergede 180 °' ye ayarlıyken, şakul üzerindeki deliğe yerleştirilen çelik çubuk kullanılarak el gücüyle 0 °' ye çevrilerek serbest bırakılır. 30 dakika sonra ibrenin gösterdiği değer okunarak % olarak hesaplanıp Elastik geridönüş (Burulma geridönüş) değeri olarak tespit edilir.

3.1.1.2.3 Çekme gerilmesi testleri

A. Sertlik ve gevreklik testi (Benson, 1955). 190 °C' ye ısıtılmış 36 gr. bitüm metal kap içerisine boşaltılır. Numuneden tüm kabarcıklar çıkartılır. Parlatılmış, 11,1 mm (7/16 inç) çapında metal yarı küresi ve test makinesine takılmasını sağlayan dişli sap, sıcak ve erimiş olan numune içerisine tam olarak 11,1 mm ye uygun örümcek ayakları ile yerleştirilir. Soğuduktan sonra baş kısım bitümden 508 mm/dakika (20 inç/dak.) hızla çıkartılır ve yük deformasyon eğrisi çizilir. Gerilme deformasyon eğrisinin altında kalan alan bitümün sertliği olarak belirlenir. Eğrinin uzun çekme kısmının kapsadığı alan gevreklik olarak tanımlanır.

B. Sertlik ve gevreklik testi - değiştirilmiş yöntem (Thomson ve Hagman, 1958). Sistem 19 mm (3/4 inç) çapında yarı küresel baş, dişli olan sap üzerinde olacak şekilde numune yüzeyine tamamen gömülür. Sistem 25 °C' de 12 saat bırakılır, baş kısım numuneden 305 mm/dakika (12 inç/dak.) bir hızla çekilir. Yük ve uzama eğrisi kaydedilerek sertlik ve gevreklik değerleri ölçülür.

C. Sertlik ve gevreklik test uygulaması Boussad vd. (1988). 50 gr. bağlayıcı(160 °C) çelik bir kap içerisine dökülür, tutma ve muhafaza ekipmanı, krom kaplı küre ile kap içerisine



konur ve sistemin soğuması sağlanır. Doldurulan sistem kullanılmadan önce 160 °C' ye getirilerek iyi bir adezyon sağlanır, sistemde bir gerilme bırakılmaz. Küre numuneden 500 mm/dakika hızla çekilerek alınır. Yük zaman/uzama oranına karşın kaydedilir. Kaydedilen eğrilerden, maksimum kuvvet ve sertlik (kürenin yerinin değişmesinde gereken toplam enerji) değerleri sağlanır. Gevreklik aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Gevreklik} = \text{Sertlik} - 2 * \text{Maksimum kuvvetteki enerji}$$

D. Çekme testi (Woodside ve Lynch, 1989). Bağlayıcı metal bir plaka (20 x 20 cm) üzerine dökülerek 1,5 mm kalınlığında bir film tabakası elde edilir. Dairesel kireçtaşı diskleri (40 mm çapında, 6 mm kalınlığında) eşit bir şekilde sıcak bağlayıcıyla birbirinden 25 mm aralıkta sıkıştırılarak numune 60 °C' de hava üfleyen fırın içinde 24 saat tutulur. Numune tekrar oda sıcaklığına getirilir ve Instron Yük Testi aparatına kelepçelenir. Çengeller merkezi duruma getirilerek yükseltmiş olan haç zincir ile emniyetlenir. Sabit yük altında çekme 100 mm/dakika hızla başlar. Kopmada maksimum yük ve bağ yapısı kaydedilir. Her çekme için, yapışma karakteristiği tespit edilir.

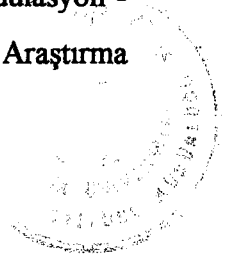
E. Yük duktilitesi testi (D-4 P 226). Pirinç kalıp kabı düz kenarlarına kadar numune ile doldurulur ve 30 dakikada oda sıcaklığına erişmesi sağlanır, 4 °C su banyosuna tabi tutulur. Taşan fazla numune kenarlarından kestikten sonra test numunesi 4 °C su içinde bir 90 dakika daha bekletilir. Pirinç plakadan biriket çıkarılır ve parçalar takılır. Tokaların her iki ucunda bulunan bilezikler süratle test makinesi içinde bulunan millere monte edilir ve yük ölçme aparatı devreye alınır. Her iki tokada birbirinden ayrı olarak 5 cm/dakika bir hızla biriket uzayıp kopuncaya kadar çekilir ve yük sıfır olduğunda sabit kalır. Yük uzama eğrisi kaydedilerek maksimum yük belirlenir, maksimum yükün meydana geldiği andaki uzama ölçülerek kaydedilir. Çekme gerilmesi, biriketin uzama yükü numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Yük uzama eğrisi altında bulunan alan, biriketin uzaması için gerekli olan işi gösterir. Bu testin değişik şekilleri referanslarda (Chaverati 1989; Verburg ve Molenoer, 1991) açıklanmıştır. Başlıca farklılık, kullanılan numune kalıp tipidir.

F. Direkt çekme gerilmesi testi, Andersen ve Dongre (1993). Bu test yönteminde köpek-kemiği şeklinde numune geometrisi (6 mm kalınlıkta ve tüm uzunluğu 100 mm, ve uç tarafları içerir). Özel kavrama tekniği ve uzama ölçme sistemi uygulanır. Kavrama yöntemi plastik olan uç kısım kopmalarını ve yükleme pimlerini içerir. Uzama lazer esaslı uzunluk ölçer kullanılarak ölçülür. Bu işlem hassas ve tekrarlanabilir bir ölçü sağlar. Gerilme ve deformasyon eğrisinden, kopma esnasında gerilme ve deformasyon eğrileri aynı zamanda kopma enerjisi (gerilme ve deformasyon eğrisinin altında kalan alan) hesaplanabilir. Bu test ekipmanı Stratejik Yol Araştırma Programında (SHRP) geliştirilmiştir.

3.1.1.2.4 Statik mekanik testler

A. Sertlik modülünün kayma plakası reometrisi kullanılarak tespiti (Tosh vd., 1992). İki alüminyum plaka, çıkartılabilen 3 mm ara çubuğu kullanılarak bağlayıcı içinde doğru bir şekilde pozisyonlandırılır. Silikon kağıdı ile aralıkların etrafı sarılarak sıcak bağlayıcının dışarı akması engellenir. Hazırlanan sistem 160 °C' deki fırın içerisine yerleştirilir. Bağlayıcı karıştırılarak 160 - 170 °C' ye ısıtılır ve sandviç içine doldurulur. Soğuduktan sonra fazlalıklar alınır ve sıkıştırma kağıdı çıkartılır. Numune aparat içerisine kelepçelenir ve su banyosunda 30 dakika bırakılır. Numunenin deformasyonu kayma yükü altında ölçülür. Aynı anda sertlik modülü belirli (t) yükleme zamanı ve sıcaklık gerilme/deformasyon oranı olarak hesaplanır.

B. Kiriş eğme reometrisi kullanılarak sertlik modülünün ölçülmesi (SHRP Metot B-002, 1993). Yaklaşık 30 gr. numune kullanılarak 125 mm uzunluğunda, 12,5 mm genişliğinde ve 6,25 mm kalınlığında kiriş hazırlanır. Kiriş, test sıcaklığında 60 dakika tutulur ve destekler üzerine yerleştirilerek göz kararı merkezlenir. Kiriş destekler ile beraber sabit sıcaklık banyosuna daldırılarak test ısı kontrol edilir. Yükleme şaftının kiriş ile temasına izin verilir, yerleştirmeden sonra sabit bir yük orta noktadan uygulanır. Sünme sertliği ve log sertliğinin eğimi zaman eğrisine bağlı olarak 8 ile 240 saniye arasındaki çeşitli zamanlar için ölçülür. Sistem, 30 MPa dan 3 GPa ya kadar modül dizisini ölçmede kullanılır. Tipik modülasyon - 40 °C' den 25 °C' ye kadar olan sınırlar içindedir. Bu ekipman Stratejik Yol Araştırma Programı (SHRP) tarafından geliştirilmiştir.



3.1.1.2.5 Dinamik mekanik testler

Bu tip bir test işleminde numune osilasyon deformasyonu veya gerilmesine maruz bırakılır. Depolama modülü (G^I); kayıp modülü (G^{II}); kompleks modül (G^*), kompleks dinamik viskozite (η^*) ve faz açısı gibi viskoz ve elastik parametreler birbirine bağlı olarak ölçülebilir. Test frekans ve ısı parametreleri dikkate alınarak uygulanabilir. Çeşitli test geometrileri, paralel plaka, koni ve plaka, kap ve plaka ve burulma kutusu test işleminde kullanılan aletlerdir.

A. Test prosedürü, Jovanoviç vd., (1993). Test sıcaklığına bağlı olarak iki değişik geometri kullanılır - 80 °C' ile 20 °C temperatür aralığındaki test için metal kalıba (63,5 x 12,7 x 2 mm) bitüm dökülerek numune hazırlanır, bu işlemde sonra dinamik burulma tatbik edilir. Test sıcaklığı 10 °C' lik artımlarla değiştirilir ve her temperatürde numune 0,01 rad/sn ile 100 rad/sn frekansları arasında test edilir. Sıcaklığın 30 ile 120 °C üzerinde olduğu ölçümler, dinamik kesme metodu iki paralel plaka (25 mm çap, 1 mm boşluk) arasında kullanılarak yapılır. Test sonucu, kompleks dinamik viskozitenin master eğrileri veya depolama modülünün kısıtlanmış olan frekans ile değişimi şeklinde ortaya konur.

B. Test prosedürü, De Ferrariiss vd., (1993). Testler 20 °C ile 70 °C arasında Reometrik Asfalt Analizleri kullanılarak yapılır. Deformasyonlar düşük sıcaklıklarda (< %0,5) düşük seviyede tutulur ve yüksek sıcaklıklarda artırılır fakat daima lineer viskoelastik bölge içinde bulundurulur. Frekanslar 0,1 rad/saniye (0.016 Hz)'den 10 rad/saniye (1,6 Hz) beş eşit basamakta onluk olarak test sıcaklıklarına taşınır. Neticeler sıcaklığa bağlı olarak eğim kayıplarının araştırması yapılarak analiz edilir.

C. Test prosedürü, Cavaliere vd., (1993). Bu test işlemi iki paralel plaka arasında (8 mm çapında) burulma kuvveti, -30 °C ile 80 °C arasında ve 0,01 Hz ile 10 Hz frekans alanı içinde tatbik edilir. Aradaki boşluk yüksekliği 5-6 mm arasında olacaktır. Kaymayı önlemek için test numuneleri yapıştırılır. Depolama modülünün master eğrileri zaman - sıcaklık ilişkisi dikkate alınarak frekansa karşı olarak elde edilir.



D. Dinamik mekanik termal analizi kullanarak uygulanan test yöntemi (Khalid ve Davies, 1993). Dinamik Mekanik Termal Analiz aleti (DMTA) kullanılarak numuneye gerilme uygulanır. Kayma veya çekme gerilmesi modları kullanılarak faz açısı sıcaklığa ve/veya frekansa bağlı olarak belirlenir. Isı aralığı $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve frekans ise $0,3\text{ Hz}$ ile 200 Hz arasındadır. Faz açısı faydalı bir faktör olarak bağlayıcıların ısı hassasiyetinin anlaşılmasında kullanılır.

E. Kontrollü germe reometresi kullanılarak uygulanan test yöntemi (Jorgensen, 1993). Bu ekipman, yukarıda izah edilen “Elastik geridönüş” testinde kullanıldığı gibi dinamik test işleminde kullanılır. Numune değişik sinüzoidal kayma gerilmesine maruz bırakılarak değişik visko elastik parametreler sonucu deformasyondan ölçülerek elde edilir.

F. Balans reometresine bağlı test yöntemi (Kolb, 1985). Balans reometresinin ana prensibi paralel viskometre olarak bilinen, iki paralel plaka, yarı küresel kap ve yarım kürenin yerleştirilmiş şeklidir. Kap verilen bir frekans değerine göre bir eksen etrafında hareket ettirilir. Visko elastik parametreler $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıkta ve 78.5 sn^{-1} ile $0,0196\text{ sn}^{-1}$ frekanslarda hareket ettirilir. Numune, sinüzoidal defermasyon ve kayma gerilmesi momentine tabi tutulur ve balans ekipmanı kullanılarak ölçülür.

G. Dinamik kayma reometresi kullanılarak uygulanan test yöntemi (SHRP Yöntemi B-0003, 1993). Bu test işleminde, bir deformasyon veya gerilme kontrolü dinamik kayma reometresi kullanılarak bağlayıcıların sinüzoidal moddaki Lineer viskoelastik modülü ölçülür. Ölçmeler değişik temperatürlerde, deformasyon ve gerilme seviyelerine, frekanslarına göre yukarıda bahsedilen geometrik elemanlar kullanılarak yapılır. Spesifik olarak yaşlanmamış bağlayıcılar için ve ince film halinde ısıtma testi (TFOT) ile yaşlandırılmış bağlayıcılar için yaklaşık $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında basınçlı yaşlanma kabı (PAV) testi ile yaşlandırılmış bağlayıcılar için $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında test işlemi uygulanır. Gerçek test sıcaklıkları ve gerilme/deformasyon seviyesi bağlayıcıların sertliğine bağlı olacaktır. Kompleks modül (G^*) ve faz açısı (δ) 10 rad/sn frekans içerisinde belirlenerek $G^*/\sin\delta$ veya $G^* \cdot \sin\delta$ değerleri elde edilir. Bu test prosedürü Stratejik Yol Araştırma programında (SHRP) geliştirilmiştir.



3.1.1.3 Adezyon/Kohezyon testleri

3.1.1.3.1 Vialit test (King vd., 1986)

200 x 200 mm plaka üzerine 1 kg/m² bağlayıcı yayılır. 100 adet agregaya bağlayıcı üzerine yayılır ve lastik silindir ile altı kez sıkıştırılır. Bu sıkıştırma herbir dik kenar yönünde üç kez tekrarlanır. Agregalı plakalar, oda sıcaklığında ve % 100 nemde (su içinde) bırakılır. Serideki üç plaka sıkıştırıldıktan sonra deney 20 dakikada tamamlanır. Daha sonra plakalar üç ayaklı sehpa üzerine ters çevrilir ve 500 gr. ağırlığında bir çelik bilya 50 cm yükseklikten plakaların üzerine bırakılır. Adezyon değeri aşağıdaki formüle göre tanımlanır.

$$100 - (a+d) = b+c-d$$

Burada:

- a- Bağlayıcı ile tamamen kaplanmamış olan ve düşen agregaya sayısı,
- b- Bağlayıcı ile kısmen kaplanmış olan agregaya sayısı,
- c- Tamamen yapışmış agregaya sayısı,
- d- b ve c nin toplamı.

3.1.1.3.2 Gevreklik ısısı (Boussad vd., 1988).

Test plakaları yukarıda Vialit Testinde açıklandığı gibi hazırlanır ve 14 gün 50 °C etüv içerisinde tutulur. Plakalar test edilmeden önceki akşam en az % 90 agreganın tutulması için, genellikle 10 °C de bulundurulur. Plakalar üzerine ardı ardına 3 defa 10 saniye aralıklarla 500 gr. ağırlığında çelik küreler düşürülür ve tekrar ivedilikle etüv içerisine konularak kayıplar kaydedilir. Test işlemi 90 dakikada 5 °C' ye kadar düşürülerek denge sıcaklığına erişinceye kadar tekrar edilir. Kayıplar % 90 değerini aştığında test tamamlanmış olur. Gevreklik sıcaklığı parçaların % 50 sinin kaybedildiği sıcaklık olarak tarif edilir.



3.1.1.3.3 Düşme sıcaklığı (Brever, 1988)

Bu test Vialit Test işleminin modifiye edilmiş şeklidir. Bağlayıcı film kalınlığı 1.4 mm.dir. Testten önce bağlayıcı plaka etüvde, önce 25 °C' de 24 saat ve bundan sonrada 40 °C de 24 saat bırakılır. Düşme sıcaklığı, demir kürelerin üç kez düşürülmesi sonucunda parçaların %10 unun kaybolduğunda kaydedilen sıcaklıktır. Soğuk Düşme Sıcaklığı (KST) ve Isı Düşme Sıcaklığı (WST) olmak üzere iki değişik düşme sıcaklığı vardır. O değerler birbirine bağlı olan değerlerdir. Bu iki düşme sıcaklığı (KST)'nin artması veya (WST)'nin düşmesiyle belirlenir. Bu test esnasında sıcaklık 5 °C aralıklarla tespit edilir ve bu değerler bitümlü bağlayıcıların plastiklik, adezyon ve kohezyon değerlerinin belirlenmesinde kullanılır.

3.1.1.3.4 Büzülme testi (Molenaar, 1991)

5 x 5 cm ebadında taş tabletler parlatılır ve çok ince bir bitüm filmi ile (0,5 mm) kaplanır. Tabletler 98 °C' deki su içerisine konular. Film büzülmesi gözle görülür. Sonuçlar modifiye edilmiş bitümlerin büzülmesinin klasik bitümlere oranla daha az olduğunu gösterir. Bununla beraber kaba dağılımlı iki fazlı modifiye edilmiş olan bitümler klasik bitümlerle aynı özellikleri gösterir.

3.1.1.3.5 Vialit Pandül Çekici kullanılarak kohezyon testi (Bononi, 1988)

Bu test işleminin prensibi, bağlayıcı filminin kırılma işlemiyle emilen enerjinin VIALİT pandül çekici kullanılarak hesaplanmasıdır. Bağlayıcı çelik tüp içerisine ara parçaları ile dökülerek kalınlığı 1 cm² yüzeyde 1mm olması sağlanır. Küpün yüzeyi bağlayıcı ile çelik arasında iyi adezyonu sağlamak için yivlidir. Küp, numune ile birlikte diğer bir çelik küp parçanın yivli olan yüzeyine bastırılır ve bu parça test halkası içerisine konularak test sıcaklığına ulaşması sağlanır. Küp ile boşluklar sarkaç ağırlığının kullanılmasıyla çarptırılarak bağlayıcı filminin kopması sağlanır. Pendulumun en büyük salınımı, bağlayıcının kohezyonu olarak ölçülür ve değeri kaydedilir. Test değişik sıcaklıklarda uygulanır.



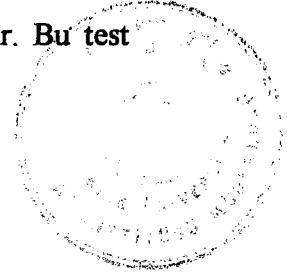
3.1.1.3.6 Kaynayan su soyulma testi (BRRC, 1991)

Kaplanmış agrega kaynar su içerisinde belirli şartlarda ve lokal olarak diğer aşırı bir sıcaklığın olmadığı ortamda basit bir sistem kurularak uygulanır. Agreganın açığa çıkan yüzey kısmı kimyasal işlem yapılarak değerlendirilir. Soyulma oranı kalibrasyon eğrisi referans alınarak belirlenir ve bu oran agrega-bağlayıcı adezyonunun artmasıyla düşer. Bu test işleminde kullanılan ayıraç kalker agregalar için hidroklorik asit ve silikokalker yada silikan agregalar için hidroflorik asittir.

3.1.1.4 Yaşlanma testleri

3.1.1.4.1 Basınçlı yaşlanma kabı testi (SHRP Yöntem B-005, 1993)

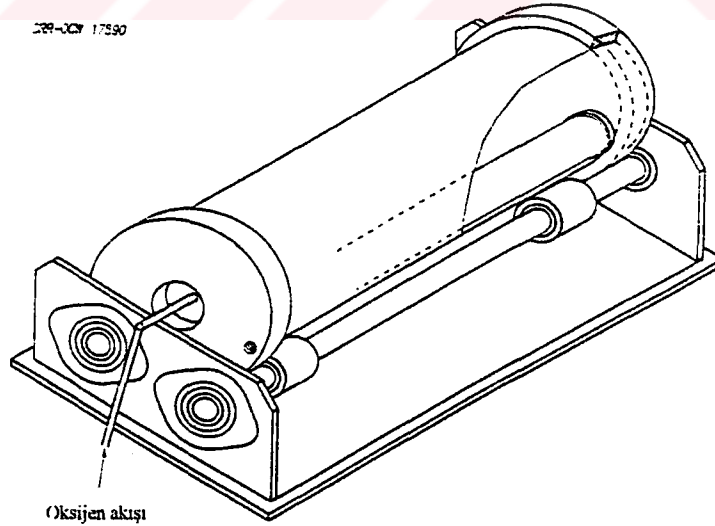
Basınçla yaşlandırma kabı (PAV) sahadaki uzun süre yaşlanmayı temsil eder. Bu test sadece sıcaklık etkilerini gösterir, karışım, hava boşlukları, agrega tipi ve agrega absorpsiyon özelliklerinin etkilerini amaçlamaz. İşlem, TFOT (ASTM D 1754) veya RTFOT (ASTM D 2872) sonrası bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan işlemleri içerir. Eğer TFOT kullanıldıysa bitüm hazneleri direkt olarak PAV' a transfer edilir. Eğer RTFOT işlemi kullanıldıysa bitüm numuneleri en az iki şişe karışımı bir araya getirilerek homojen bir karışım elde edilir. Numune 50 gr. olarak PAV yaşlandırma haznesi (aynı hazne TFOT' de kullanılır) içerisine dökülür. Hazne test sıcaklığına etüv içerisinde getirilir. Numuneleri içeren hazneler tutucu içine yerleştirilerek sıcak kap içerisine konur. Kapalı olan bu kaba 2.07 MPa hava basıncı verilir. Test sıcaklığı; bitümün kullanılacağı yerin iklim şartlarına göre seçilir. Basınç ve sıcaklık 20 saat sabit tutulur. Kapalı kap fırın içerisinden çıkarılır ve bitüm hazneleri 135 °C' ye kadar fırın içerisinde 30 dakika tutularak hava kabarcıklarının çıkarılması sağlanır. Numuneler depolama kapları içerisine dökülerek diğer test işlemleri için toplanır. Bu test ekipmanı Stratejik Yol Araştırma Merkezinde (SHRP) geliştirilmiştir.



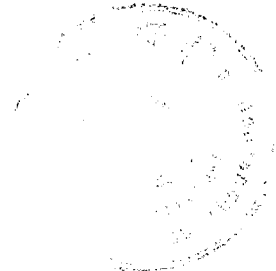
3.1.1.4.2 BRRC yöntemiyle yaşlanma testi (Verhasselt ve Choquet , 1991)

Bu deney, bağlayıcının (bitümün ve/veya modifiye bitümün) uzun süreli saha yaşlanmasını ölçmek için yapılmaktadır. Merkezinde 43 mm çapında bir delik bulunan yüksekliği 300 mm, çapı 124 mm iç ölçülerindeki çelik silindir, bu silindirin içine konulacak olan, yüksekliği 296 mm, çapı 36 mm dış ölçülerindeki tamamen kapalı ikinci bir çelik silindir, sıcaklık ayarlı ve içine büyük silindir yerleştirildiğinde 1 devir/dakika hızla dönmesini sağlayacak tertibata sahip bir etüv ile silindirin merkezinden içine doğru konuşlanabilen ince bir boruyla oksijen üflenmesini sağlayan düzenek deney ekipmanını oluşturmaktadır (Şekil 3.1).

Büyük silindir içerisine silindirin iç yüzeyinde 2 mm kalınlığında film tabakası oluşturacak miktarda deneye tabi tutulacak bağlayıcı numunesi (~ 500 gr.) ve küçük silindir konulur. Daha sonra silindir etüv içerisindeki dönmeyi sağlayacak tertibatın üzerine yerleştirilip, oksijen borusunun silindir merkezinden içeriye doğru konuşlandırılmasından sonra, etüv sıcaklığının stabil olarak deney sıcaklığına (70 - 110 °C) gelmesi beklenir (Sabit deney sıcaklığı bağlayıcının kullanılacağı iklim bölgesine göre tespit edilir). Bu sıcaklık sağlandığında, 45 litre/saat debi ile oksijen üfleyen sistem ve silindirin dönmesini sağlayan sistem çalıştırılarak deneye başlanır.



Şekil 3.1 Bitümlü bağlayıcıların hızlandırılmış yaşlanma testi aygıtının şeması



Deney 10 gün (240 saat) anlatılan koşullarda sürdürülür. Deneyin 1.günü (24 saat), 2.günü (48 saat), 3.günü (72 saat), 6.günü (144 saat) ve 10. gününde(240saat)deney numunesinden yeterli miktarda alınarak, penetrasyon, yumuşama noktası, asfaltın % si, malten % si ve infrared spektroskopisi gibi testlere tabi tutulur. Bu test ekipmanı Belçika Yol Araştırma Merkezinde (BRRC) geliştirilmiştir.

3.1.1.5 Kimyasal analiz yöntemleri

3.1.1.5.1 Spektroskopik yöntemler

A. Kızılötesi spektroskopisi (Fifield vd., 1990). Bu yöntemin prensibi kızılötesi bölgesinde elektromanyetik radyasyonun emilmesinin moleküllerin titreşim enerjisinde değişikliklere yol açmasıdır. Bu testte kullanılan araçlar Fourier değişim spektrometresi veya prizma yada ızgaralı monokromatör içeren çift ışınli spektrofotometre, termal veya foto detektör ve alkali tuz hücreleridir. Kızılötesi tayf (spektrum) dalgaboyuna (ηm) ve/veya dalga sayısına (cm^{-1}) karşı geçirgenlik (%) olarak kaydedilir. Bu yöntem organik maddelerin teşhisi ve yapısal analizi için yaygın biçimde kullanılır. Bu durumda, kızılötesi tayf, örneklerin bilinen maddelerle kıyaslanması ve grup frekanslarına ilişkin grafiklerin referans gösterilmesi suretiyle deneysel bir şekilde kullanılır. Kızılötesi, aşağıda verilen Beer-Lambert Yasasına uyan kızılötesi ışınların emilmesine dayalı niceliksel analizde de uygulanır.

$$\log (I_0/I) = A = \epsilon Cl,$$

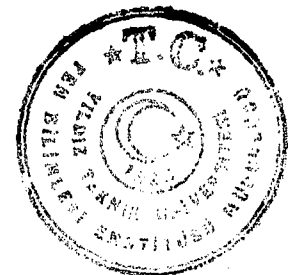
Burada:

$\log (I_0/I)$ - absorpsiyon sayısı,

I_0 ve I - sırasıyla geliş yoğunluğu ve nakledilen yoğunluk,

l ve C - birbirlerine bağlı olarak absorpsiyon ortamının konsantrasyonu,

ϵ - molar emicilik diye bilinen bir sabit sayı değeridir.



Miktar ölçümünden önce bir kalibrasyon eğrisi geliştirilir. Bu amaç doğrultusunda, örnekler ve standartlar için aynı hücre kullanılmalıdır. Kızılötesi yöntemin polimer modifiye bitümlere uygulanması polimer muhtevası ve işlevsel grupların belirlenmesini, PMB uygunluğunun tahmin edilmesini ve polimerin bitümlerin içinde çözülmesinin araştırılmasını içerir (Jovanoviç vd., 1991).

B. Nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (Fifield vd., 1990). Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR) ölçümü radyo-frekans bölgesindeki elektromanyetik radyasyonun emilmesinin bir manyetik alanda dönen çekirdeğin yönünde değişmelere yol açması olgusuna dayanır. NMR tayfına neden olabilecek çekirdeklerin 1 ve 1,5 gibi 0 olmayan dönme kuantumu sayılarına sahip olması gerekir. Bu çekirdekler ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{15}N ve ^{19}F vs'yi içerirler. Bir NMR spektrometresi güçlü ve yüksek homojenlikte bir elektromıknatıs, bir radyo-frekans sinyali jeneratörü ve detektör devresi, bir elektronik bütünleyici (integrator) ve cam örnek tüplerinden oluşur. NMR tayfi manyetik alanın sabit frekansta (genellikle 60-100 MHz) taranması veya sabit bir manyetik alandaki nakledici aygıtın çalışma frekansının taranmasıyla elde edilebilir. Bu teknik organik maddelerin teşhisi ve yapısal analizi ile kinetik etkilerin incelenmesinde kullanılabilir. Söz konusu teknik, miktar analizinde de yararlıdır, ancak bu işlem yaygın olarak uygulanmaz. ^1H 'ın en yüksek yöreliliğe sahip olması ve ^{12}C ve ^{16}O 'nun aktif olmaması (dönme kuantumu sayıları sıfırdır) nedeniyle, ^1H NMR veya Proton Manyetik Rezonans Spektroskopisi (PMR) organik bileşimlerin niteliksel analizinde en yararlı tekniklerden biri olmuştur. PMR tayfinin yorumlanması referans tayfalarla karşılaştırılarak veya kimyasal değişim tabloları referans gösterilerek yapılır. Bitüm üzerinde yapılan uygulamalarda ise, NMR yöntemiyle doymuş/aromatik karbon oranlarının tahmin edilebildiği, karboksilik asitler, penol ve benzilik protonlarının (Giavarini vd., 1989; Goodrich vd., 1986) içeriğinin ölçülebilmekte ve kimyasal tür bileşimleri belirlenebilmektedir (Santagata vd., 1993).

3.1.1.5.2 Kromatik yöntemler

A. Gaz kromatografisi (Fifield, 1990). Gaz kromatografisinde, numuneler sabit bir faz içeren bir kolonun üstünde yer alan bir enjeksiyon deliği vasıtasıyla gaz akımının hareketli



faz) içine verilir. Sürekli gaz akımı bileşenleri kolondan ayırarak dağılma oranını artırır. Ayrılan eriyikler bir dedektörle (örneğin iyonizasyon dedektörü) izlenir ve bir kayıt sistemi kullanılarak kromatogramlar elde edilir. Hareketli faz genellikle helyum nitrojen veya hidrojen olarak seçilir. Sabit faz ataletli bir destek malzemesi üzerine kaplanan veya haraketsizleştirilen bir aktif katı madde (örneğin silika, sentetik zeolitler) veya yüksek kaynama noktasına sahip bir sıvı (örneğin squalen, polietilen) olabilir. Bir kromatogramın pik bileşenlerinin teşhisi 2 farklı şekilde yapılabilir: Alıkonulan hacimlerin kıyaslanması ve ayrılan bileşenlerin ek analiz için tutulması. İkinci yöntemde, kızılötesi ve kütle spektrometresi gibi diğer analitik teknikler kullanılır. Bir pikin toplam alanı ayrılan eriyiğin miktarıyla doğrudan orantılıdır. Miktar analizi iç normalleşme, iç standartlaşma veya standart ilave yöntemiyle yapılır. Gaz kromatografisinde, incelenecek numuneler çalışma ısılarında termal açıdan sabit ve uçucu olmalıdır. Bu yöntem nispeten hızlı ve basittir ve organik karışımların analizinde de çok yararlıdır; aynı zamanda bitümlü bağlayıcıların uçucu bileşenlerinin ayırt edilmesi için uygundur (Ruud, 1989).

B. Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) (Fifield, 1990). Bu yöntemde numune bir şırınga veya supaplı enjektörle hareketli fazda sıvının basınçlı akımı içine terk edilir. Numuneyi içeren hareketli faz sabit bir katı madde içeren kolonun içinden geçer. Eriyebilirlik, absorpsiyon, boyut veya yükteki farklılıklardan dolayı, bileşenler kolonun içinde farklı hızlarda hareket ederler. Ayrılan bileşenler bir dedektörle (örneğin fluorimetrik dedektör) izlenir ve kromatogramlar bir kayıt sistemi kullanılarak elde edilir. Nitelik ve miktar analizi metodları gaz kromatografisinde kullanılanlara benzerdir. HPLC'de, modifiye edilmemiş veya kimyasal olarak modifiye edilmiş mikropartikül halindeki silikalar normalde sabit faz olarak kullanılır. Hareketli fazın kimyasal kompozisyonu uygun bir şekilde seçilmelidir. Optimum alıkoyma ve ayrışma iki çözücünün karışımı kullanılarak elde edilir. Örnek bileşenlerin polaritesi büyük farklılık gösteriyorsa, kademeli ayrılma yöntemi kullanılabilir. Normal faz ayrımlarında (polar sabit faz/polar olmayan hareketli faz), diklorometanlı pentan veya hekzan, kloroform veya alkol sıkça kullanılır. Ters faz ayrımlarında, en çok kullanılan hareketli fazlar sulu tampon ile metanol karışımı veya su ile asetonitrik karışımdır. HPLC yöntemi iyonik ve polimerik örnekler içeren uçucu olmayan



maddelerin ayrılmasında çokça kullanılmıştır. Polimer modifiye bitümün içindeki SBS muhtevası HPLC ile belirlenebilir (Neubaueri 1988).

C. Alev iyonizasyon dedektörü ile ince tabaka kromatografisi (Sherma vd., 1991). Bu yöntemde, incelenecek numune bir çözücünün içinde eritilir ve kroma çubuklarının ucuna (İnce bir tabaka silika veya alumina ile kaplı kuartz çubuklar) benek halinde yerleştirilir. Daha sonra geleneksel İnce Tabaka kromatografisinde olduğu gibi, çubuklar uygun çözücülerle geliştirilir ve çözücü ısıtılarak uzaklaştırılır. Çubuklar alev iyonizasyon dedektörünün hidrojen alevi vasıtasıyla seçilmiş bir hızda taranır. Bu işlemde, çubuğun üzerinde ayrılan küçük parçalar sırasıyla buharlaştırılır ve ısıyla eritilir. İyonize olabilir karbon, bir toplayıcı elektrodla algılanan iyonlara dönüşür. Alev iyonizasyon dedektörünün her küçük parça için verdiği sinyaller büyütülür ve ayrı pikler olarak kaydedilir. Miktar hesabı alan normalleştirilmesi, iç standartlar veya ampirik kalibrasyon yöntemiyle yapılır. Bu test, hem kromatografi hem de taramada çalışma değişkenlerinin uygun seçimi tatminkar bir hassasiyet ve miktar analizinin tekrarlanabilirliği açısından çok önemlidir. Bu tekniğin çok çeşitli maddeler için birçok uygulama alanı vardır; bitümlerin tür kompozisyonunun belirlenmesi için uygundur. Polimer modifiye bitümlerde, bitüm kompozisyonunun polimer şişmesi üzerindeki etkisi, üretilen bağlayıcı fazının tür kompozisyonu ve polimer muhtevası bu yöntemle araştırılabilir (Brule vd., 1988; Torres vd., 1993).

D. Jel nüfuz kromatografisi (Fifield vd., 1990). Boyutları farklı olan moleküller, örneğin delikli çapraz bağlantılı polimerik jelden oluşan sabit faz içinden geçirilmesiyle ayrılabilir. Jelin delikleri belirli bir kritik boyuttan daha büyük molekülleri geçirmez, daha küçük moleküller ise yayılarak jelin yapısı içine girebilirler. Bu yöntem Jel Nüfuz Kromatografisi (GPC) olarak tanımlanır. Sabit faz için kullanılan jeller sulu veya diğer polar çözücülerdeki ayrışmalar için hidrofilik ve polar olmayan veya zayıf polariteli çözücüler için hidrofilik olabilir. GPC ayrışmasında, küçük moleküller jele nüfuz etme derecelerine bağlı olan hızlarda ayrılırlar. Bu nedenle örnek bileşenler azalan boyut veya molekül ağırlığı sırasıyla ayrılırlar. Bileşenler yansıma indeksi veya ultraviyole emilmesi kullanılarak veya ayrı parçacıkların toplanıp analiz edilmesi suretiyle teşhis edilir. Elde edilen kromatogram belli bir ayrılma zamanında ayrılan bileşenlerin nispi miktarını temsil eder. Bu yöntem yüksek molekül ağırlığına sahip malzemelerin ayrılmasında ve ayrıca molekül ağırlığının



belirlenmesinde uygulanır. Bileşenlerin moleküler kütle dağılımı, PMB (Polimer modifiye bitüm)'lerdeki polimer muhtevası ve PMB yaşlanması sırasında polimerin azalması GPC yöntemiyle incelenebilir (Johansson vd., 1991; Molenaar, 1991).

3.2 Bağlayıcı (Modifiye Bitüm) Şartnameleri

Çoğu ülkelerde, bitüm şartnameleri viskozite yada penetrasyon derecelenmesine göre yapılmıştır ve viskozitenin, düktilitenin, penetrasyonun ve yumuşama noktasının tipik ölçümüne dayanmaktadır. Bu ölçümler, bitümün lineer viskoelastik ve başarısızlık özelliklerini gereğince izah edebilmek için yeterli değildir ki, bu özellikler bağlayıcı ile karışım özellikleri arasında ihtiyaç duyulan ilişkiyi kurmak için gerekli olmaktadır. Dolayısıyla bu şartnameler ve test yöntemleri performans-ilişkilerini kurmak için yeterli olmamaktadır (Anderson vd., 1993) (Francken, 1997).

Çünkü:

- 1-Yeterince düşük sıcaklık yöntemlerini içermezler,
- 2-Klasik karışım özellikleri yada üstyapı performansı ile ilişkilendirilebilecek esas bağlayıcı özelliklerini içermezler,
- 3-Daha yüksek uygulama sıcaklıklarında yoğunluk ölçümleri için uygun değildir (Kapiler viskozite), ve
- 4-Servis yaşlanmasındaki uzun dönem için karar verilemez.

Yaygın olarak, modifiye bitümler için önerilen, yada kullanılan şartname modelleri, çekme gerilmesi ve elastik geridönüş gibi testlerin de eklenmesiyle klasik bitüm şartnamelerinden türemişlerdir. Bir polimer, bitüm modifiyeri olarak seçildiğinde, istenilen ilk şey bitüm ile polimer arasındaki uyumdur, çünkü depolama sırasında polimerin ayrışması kötü performans neticesini doğuracaktır (Berenguer, 1988) (Francken, 1997).



Bu nedenle şartnamelere bir uyuşma testinin eklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Modifiye bitümler için önerilen şartname modelinin tipik bir örneği (Ruud, 1988) geleneksel testlere dayanmakta ve şu parametreleri içermektedir (Francken, 1997):

- Yumuşama noktası.
- Viskozite (135 °C'de ve 180 °C'de).
- Depolama stabilitesi:
 - Penetrasyon (Üst/alt)
 - Yumuşama Noktası (Üst/alt)
- Parlama noktası (PMcc)
- İnce Film Halinde Isıtma Testi (TFOT) sonrası testler:
 - Yumuşama Noktası
 - Viskozite (180 °C' de)
 - Elastik geri dönüş

Üstyapının üretimi ve servis ömrü süresince modifiye bitüm performansını göstermek için çeşitli şartname modelleri çalışmaları yapılmaktadır. Çizelge 3.3' de çeşitli ülkelerde, modifiye bitümler için kullanılan yada önerilen şartname testleri verilmektedir. Bu tablodan Avustralya, Japonya ve çeşitli Avrupa ülkelerinde benzer şartname koşullarının esas alındığı anlaşılmaktadır (Francken, 1997).



Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerde PMB'ler için kullanılan yada önerilen şartname testleri
(Francken, 1997)

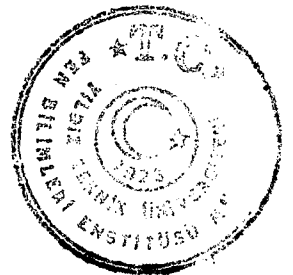
Test Adı	Avusturya	Avustralya		Belçika		Fransa	Almanya		Japonya		Polonya		İspanya	Kuzey Ülk.
	E	SBS	EVA	E	P		E	TP	E	TP	E	P		
Penetrasyon @ 25° C	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	
Penetrasyon @ 25° C kür sonrası			+											
Viskozite @ 60° C		+	+											
@ 135° C		+	+	+	+									+
@ 180° C														+
Yumuşama Noktası	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Plastik ara						+								
Parlama Noktası	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+
Frass Kırılma Noktası	+			+	+	+	+	+			+	+	+	
Akma 60°		+												
Düktilite @ -5° C				+	+									
@ 5° C											+		+	
@ 7° C							+		+					
@ 10° C						+								
@ 13° C	+						+	+						
@ 15° C										+	+	+		
@ 25° C	+						+	+			+	+		
Yüzme Testi													+	
Adezyon Testi	+													
Vialit Testi						+								
Yoğunluk @ 25° C							+	+			+	+	+	
Uzayabilirlik & Yapışkanlık									+	+				
Torsiyonal Geridönüş		+	+											
Elastik Geridönüş	+	+	+								+		+	+
Homojenlik							+	+						
Segregasyon	+	+	+											
Depolama Stabilitesi											+	+	+	+
Tekerlek izi						+								
Diğer polimerler ve mineral madde		+	+											
Yaşlanma Testleri														
Ağırlık Değişimi	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+
Penetrasyon Değişimi	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+
Yum.noktası değişimi							+	+			+	+	+	+
Düktilite @ 5° C											+		+	
@ 7° C							+							
@ 15° C							+	+						
@ 15° C											+			
@ 25° C							+	+			+			
Viskozite @ 180° C														+
Elastik Geridönüş	+						+				+			+

Not : E-Elastomerler, P-Plastomerler, TP-Termoplastikler

Polimer modifiye bitümler için Alman Standartlarında (Çizelge 3.4) Elastomer ve Termoplastik gruplar için değerler ayrı ayrı verilirken, aynı malzemeler için Polonya Standartları halen öneri konumunda olup deney limitleri Elastomer grup için Çizelge 3.5’de ve Plastomer grup için Çizelge 3.6 ‘da verilmektedir. Göl asfaltları için, Mastik Asfalt uygulamalarında kullanılacak bitümlü bağlayıcı özellikleri ise İngiliz Şartnamelerinde, BS 1447’de (Çizelge 3.7) verilmektedir (Malkoç vd., 1996).

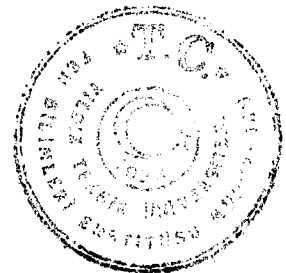
Çizelge 3.4 Polimer modifiye asfalt teknik şartnamesi (Almanya)(Malkoç vd., 1996)

POLİMER ÇEŞİDİ DENEY ADLARI	ELSTOMERLER						TERMOPLASTİK		DİN
	80 A	65 A	45 A	80 B	65 B	45 B	65 C	45 C	
PENETRASYON(25°C,100gr.,5 sn)0,1mm.	120	50	20	120	50	20	50	20	52010
YUMUŞAMA NOKTASI (Bilya-Halka) ° C	40-48	48-55	55-63	40-48	48-55	55-63	48-55	55-63	52011
FRAASS KIRILMA NOKTASI (° C) maks	-20	-15	-10	-20	-15	-10	-15	-10	52012
DÜKTÜLİTE (25 °C,5 cm./dak.)									
7 ° C, (cm.), min.	100	-	-	50	-	-	-	-	52013
13 ° C, (cm.), min.	-	100	-	-	30	-	15	-	
25 ° C, (cm.), min	-	-	40	-	-	20	-	10	
ÖZGÜL AĞIRLIK (25°C), (gr/cm³)	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	52004
PARLAMA NOKTASI (° c), MİN.	200	200	200	200	200	200	200	200	ISO-2592
ELASTİK GERİ DÖNME(25°C),(%), MİN.	50	50	50	50	50	50	-	-	
DEPOLAMA STABİLİTESİ :									
Yumuşama Noktası Farkı (°C), maks.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
ISITMA KAYBINDAN SONRAKİ DEN.									
KÜTLEDEKİ DEĞİŞİM (% m/m),maks.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	52010
YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ DEĞİŞ:									
Artış (°C), maks.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	52016
Azalış (°C), maks.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	52011
PENETRASYONDAKİ DEĞİŞİM (25°C)									
Azalış(%), maks.	40	40	40	40	40	40	40	40	52016
Artış (%), maks.	10	10	10	10	10	10	10	10	52010
DÜKTİLİTE :									
7 ° C, (cm), min.	50	-	-	40	-	-	-	-	52016
13 ° C, (cm.), min.	-	50	-	-	20	-	8	-	52013
25 ° C, (cm.), min.	-	-	20	-	-	20	-	5	
ELASTİK GERİDÖNME (25°C),(%),min.	50	50	50	50	50	50	-	-	



Çizelge 3.5 Elastomerler ile modifiye edilen polimer bitüm teknik şartname önerisi
(Polonya) (Malkoç vd., 1996)

DENEY ADLARI	DE 30 A	DE 80 A	DE 150A	DE 250E	DE 30 B	DE 80 B	DE 150B	DE 30 C	DE 80 C	DE 150C	DE 250C
PENETRASYON(25°C,100gr.5sn)	20-45	50-110	120-180	190-300	20-45	50-110	120-180	20-45	50-110	120-180	190-300
YUMUŞAMA NK.(bilya-Halka)	55-63	45-53	39-45	33-39	63-73	53-63	45-53	73-100	63-100	53-80	39-60
FRAASS KIRILMA NOK.°C maks.	-8	-10	-10	-20	-10	-15	-20	-15	-20	-25	-30
DÜKTİLİTE(25°C, 5 cm/dak.) :											
25 °C, (cm), min.	40	-	-	-	40	-	-	40	-	-	-
15 °C, (cm), min.	-	80	-	-	-	80	-	-	40	-	-
5 °C, (cm), min.	-	-	80	80	-	-	80	-	-	40	40
ÖZGÜL AĞIRLIK(25°C),(gr/cm³)	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.1-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1
PARLAMA NOKTASI(°C), min	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
ELASTİK GERİDÖN.(25°C)%amin	50	50	50	50	50	50	50	80	80	80	80
DEPOLAMA STABİLİTESİ :											
Yumuşama Nok.Farkı °C,maks.	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Penetrasyon Değeri Farkı 0.1mm.m	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ISITMA KAYBINDAN SON.DEN.											
KÜTLEDEKİ DEĞİŞİM%cm/m mak	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
YUMUŞAMA NOK.DEĞİŞİM :											
Artış (°C), maks.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Azalış (°C), maks.	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	4.0	4.0
PENETRASYONDAKİ DEĞİŞİM:											
Azalış (%), maks.	40	40	40	40	40	40	40	30	30	30	30
Artış (%), maks.	40	40	40	40	40	40	40	30	30	30	30
DÜKTİLİTE :											
25 °C, (cm), min.	20	-	-	-	20	-	-	20	-	-	-
15 °C, (cm), min.	-	50	-	-	-	50	-	-	20	-	-
5 °C, (cm), min.	-	-	50	50	-	-	50	-	-	20	20
ELASTİK GERİDÖN.25°C.% min.	50	50	50	50	50	50	-	80	80	80	80



Çizelge 3.6 Plastomerler ile modifiye edilen polimer bitüm teknik şartname önerisi (Polonya)
(Malkoç vd., 1996)

DENEY ADLARI	DP 30	DP 80
Penetrasyon (25°C, 100 gr., 5 sn.), 0.1 mm.	20-45	50-110
Yumuşama Noktası (Bilya-Halka Met.) (°C)	53-63	45-53
Fraass Kırılma Noktası, (°C), maks.	-8	-10
Düktülite (25 °C, 5 cm./dak.) :		
25 °C, (cm.), min.	10	-
15 °C, (cm.), min.	-	15
Özgül Ağırlık (25 °C), (gr/cm ³)	1.0-1.1	1.0-1.1
Parlama Noktası (°C), min.	200	200
DEPOLAMA STABİLİTESİ :		
Yumuşama Noktası Farkı (°C), maks.	2.0	2.0
25 °C Penetrasyon Değeri Farkı (0.1mm.), maks.	5	5
ISITMA KAYBINDAN SONRAKİ DENEYLER		
Kütledeki Değişim (% m/m), maks.	1.0	1.0
YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ DEĞİŞİM :		
Artış (°C), maks.	6.5	6.5
Azalış (°C), maks.	2.0	2.0
PENETRASYONDAKİ DEĞİŞİM (25 °C) :		
Azalış (%), maks.	40	40
Artış (%), maks.	10	10

Çizelge 3.7 Mastik asfalt uygulamalarındaki asfalt çimentosu özellikleri (Malkoç vd., 1996)

ÖZELLİKLER	Deney Metodu	Mastik Asfalt Tipi		
		Tip B	Tip T 50	
		Sınıf S	Sınıf S	Sınıf H
Penetrasyon 25 °C	Kısım 49	15-25	15-25	9-15
Yumuşama Noktası °C	Kısım 58	55-75	55-75	70-90
Isıtma Kaybı, 5 saat 163 °C Ağırlıkça % maks.	Kısım 45	95-100	2.0	2.0
Trikloretilende çözünürlük Ağırlıkça %	Kısım 47		75-79	75-79
Kül (mineral madde) Ağırlıkça %	Kısım 223	0-4	16.5-20.0	16.5-20.0

3.2.1 SHRP Bağlayıcı Şartnamesi

Şartnamelerin, kolay performans veren, hızlı ve güvenilir test yöntemlerine dayanıyor olması arzu edilir. Klasik test yöntemleri genellikle kolay performans verir ve kısa zamanda yapılırlar. Ancak bunların güvenilirlikleri her zaman açık değildir.

Stratejik Yol Araştırma Programında (SHRP) bitümlü bağlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere Kiriş Eğme Reometresi, Direkt Çekme Testi gibi yeni test aletleri geliştirilmiştir. Bu çalışma programında Uyuşma Kaybı, Stoklama Modülü, Bozulmadaki Sertlik ve Deformasyon gibi daha esas özellikler ölçülerek, Tekerlek İzi, Yorulma ve Isısal Çatlaklarla bağlayıcı davranışlarının ilişkilendirilmesi için parametreler önerilmiştir.

Böylece Çizelge 3.8'de verilen SHRP bağlayıcı şartnamesi performans ilişkilerine yönelik olarak verilmektedir (Petersen vd., 1994) (Francken, 1997). Şartname mevcut şartnamelerin kullanma ve güvenlik özelliklerini içermekte, minimum parlama noktası ve maksimum yüksek sıcaklık viskozitesi aynı kalmaktadır. Şartname de kısa-sürelili yaşlanma, Dönen İnce Film Halinde Isıtma Testi (RTFOT) kullanılarak, uzun-sürelili yaşlanma ise Basınçlı Yaşlanma Kabı (PAV) kullanılarak temsil edilmiştir (Francken, 1997).

Şu önemle vurgulanmaktadır ki, önerilen SHRP şartnameleri katkısız bitümler ve (Polimer) katkılı bitümlerin her ikisini de kapsamaktadır ve arzu edilen performansın sağlanması bakımından iklim koşullarına bağlı olarak bir bağlayıcı seçimine olanak vermesi amaçlanmaktadır (Francken, 1997).

3.2.1.1 SHRP Bağlayıcı şartnamesinin değerlendirilmesi (Francken, 1997)

Malzeme testlerinin esas amacı, pratikteki davranışları önceden belirleyebilecek karakteristik ölçümleri yapmaktır. Bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan testlerin, tekerlek izi oluşumuna karşı direnci, yük-yorulma bileşimi, düşük sıcaklık çatlağı gibi, asfalt üstyapısının fonksiyonel özellikleri için duyarlı olması gerekmektedir (Isacsson vd., 1995).



Çizelge 3.8 SHRP Bağlayıcı şartnamesi (SHRP A-398, 1994; SHRP A-399, 1994; Jung ve Vinson, 1994; Francken, 1997)

Performans Derecesi	PG-46					PG-52					PG-58					PG-64					PG-70							
	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	
Ortalama 7-günlük Maks. Dizayn Sıcaklığı, °C ^a	<46					<52					<58					<64					<70							
Minimum Üstyapı Dizayn Sıcaklığı, °C ^a	>-34	>-40	>-46	>10	>16	>22	>28	>34	>40	>46	>16	>22	>28	>34	>40	>46	>10	>16	>22	>28	>34	>40	>46	>10	>16	>22	>28	
Orjinal Bağlayıcı																												
Parlama Noktası Sic. AAASHIO T 48: Min, °C	230																											
Viskozite ASTM D 4402: Max 3 Pa-s, Test Sic, °C	135																											
Dinamik Kayma SHRP B-003: ^c G*/sinδ, Min, 1.0 k Pa, Test Sic. @ 10 rad/s, °C	46					52					58					64					70							
Fiziksel Sertlik İndeksi ^d h	Rapor																											
Dönen İnce Film Halinde İstisna Testi Kalıntısı (AASHIO T240, ASTM D 2872)																												
Kütle Kaybı Maks. %	1.0																											
Dinamik Kayma SHRP B-003: G*/sinδ, Min, 2.2 kPa, Test Sic. @ 10 rad/s, °C	46					52					58					64					70							
PAV Yaşlanma Sıcaklı, °C	90					90					100					100					100 (110) ^f							
Dinamik Kayma SHRP B-003: G*/sinδ, Max, 5000 kPa Test Sic. @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Sünme Sertliği SHRP B-002: ^e S, Max, 300, 000 kPa, m-değeri Min., 0.30, Test Sic. @ 60 sex, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36
Direk Çekme, SHRP B-006: ^f Bozulma Def., Min. % 1,0 Test Sic. @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36

^a Üstyapı sıcaklığı SUPERPAVE yazılımının içerdigi bir algoritma kullanılarak hava sıcaklığından tahmin edilebilir veya spesifikasyon firmasından sağlanabilir.

^b Bağlayıcıyı sağlayan firma pompalamayı ve karıştırmayı, uygun, emniyetli standartlarda sağlaması halinde bu koşullardan vazgeçilebilir.

^c Katıksız asfalt çimentosu kalite kontrolü için, dñz asfaltın viskozitesinin ölçümü G*/sinδ'nin test sıcaklığında dinamik kayma ölçümü yerine geçebilir ki bu asfalt bir Newtonyen akıştır. (genellikle 55°C'nin üstünde). Viskozite ölçümü için kapiler veya rotasyonel viskozimetre içeren her uygun standart kullanılabilir.

^d Fiziksel sertlik için belirlenen fiziksel sertlik indeksi $h = (S_2/S_1)^{0.75}$ dan hesaplanır ki burada;

1 ve 24 - tank asfaltın 1 ve 24 saatlik durumunu gösterir. Koşul ve test, test dizayn sıcaklığında yönetilir. Değer hesaplanmış ve rapor edilmiş olmalıdır.

S - 60 saniye yüklenme zamanının sonundaki sünme sertliğidir.

m - 60 saniye yüklenme zamanı sonunda logaritmik zaman eğrisine karşılık gelen logaritmik sünme sertliğinin eğimidir.

^e PAV yaşlanma sıcaklığı 100 °C dir. (Bu sıcaklık çöl iklimi için 110 °C dir.)

^f Eğer sünme sertliği 300 000 kPa ise, direk çekme testi gerekli değildir. Eğer sünme sertliği 300 000 ve 600 000 kPa arasında ise direk çekme başarısızlık deformasyonu gerektirir sünme sertliği gereksinimi yerine kullanılabilir. m-değeri her iki durumda da sağlanmış olmalıdır.

Polimer modifiye bitüm kalitesini değerlendirmek amacıyla klasik bağlayıcı testleri kullanıldığında, test koşullarının bir şekilde değiştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir çok araştırma (Anderson vd., 1993; Munchy vd., 1987; Rudd, 1988; Valero, 1988) klasik bitüm şartnamelerinin polimer modifiye bitümler için yeterli olmadığını göstermektedir.

Bu şartnameler genellikle, penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite ve Frass kırılma noktası gibi amprik test yöntemlerine dayanmaktadır ve bunların performans ilişkileri yeterince açık değildir.

Ancak bu amprik yöntemlerin niçin kullanıldığına dair çeşitli sebepler vardır. Her şeyden önce bu test yöntemleri uzun bir süreden beri kullanılmaktadır. Modifiye bağlayıcının katkısız bağlayıcı ile direkt mukayese edilebilmesi, ayrıca penetrasyon ve yumuşama noktası gibi test yöntemlerinin çok yaygın olması ve bu testlerin kullanım kolaylığı ile performans maliyetlerinin düşük oluşu da klasik test yöntemlerinin kullanılma sebeplerindedir.

Modifiye bitüm özelliklerini izah etmek için gerilme kuvveti, elastik geri dönüş ve uyumluluk gibi diğer test parametreleriyle, önerilen yada kullanılan modifiye bitüm şartnamelerinin de tamamlanması gerekmektedir. Bununla beraber bu parametreler test edilirken geleneksel amprik yöntemler sık sık kullanılır. Örneğin, PMB'ün elastik geri dönüşü standart duktilite denemesinin tekrarlı olarak kullanılmasıyla yapılmaktadır. Ayrıca uyumluluk da depolama öncesi ve sonrasında penetrasyon ve/veya yumuşama noktası ölçümüyle değerlendirilir.

Bitümlü bağlayıcılar için üç kritik çalışma sırası vardır :

- Yüksek sıcaklık ve uzun yükleme sürecinde bağlayıcı akabilir, karışımlarda tekerlek izi oluşması riskine yol açar,
- Düşük sıcaklık ve uzun yükleme sürecinde, ısıl basınç etkisi altında karışımlar çatlamaya müsaittir,
- Düşük sıcaklık ve kısa yükleme sürecinde bağlayıcı gevrektilir (kırılgandır) ve mekanik çatlakların artmasına sebep olabilir.



Bitüm şartnameleri, dinamik parametrelerin (kompleks modül, faz açısı gibi) ölçüldüğü testlerle yukarıda belirtilen kritik süreçlerdeki bitüm davranışları bakımından bilgiler sağlanmasında kullanılır. Ancak bu tip test ekipmanları oldukça pahalıdır ve rutin şartname testlerinde kullanılması için uygun değildir. Bununla beraber bu özelliklerle performans arasında ilişki kurulmasında dinamik parametreler çok faydalıdır.

SHRP'de çeşitli yeni test yöntemlerinin geliştirildiği yukarıda ifade edilmişti. Bir dinamik "makaslama reometresi" RTFOT'ye göre yapay yaşlanma öncesi ve sonrasında "daha yüksek" sıcaklık sürecinde spesifik özelliklerin ölçülmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, bu cihaz PAV (Basınçlı yaşlanma kabı) yaşlanması sonrası "orta sıcaklık" sürecinde bağlayıcının özelliklerini tespit etmekte kullanıldı ki test sıcaklığı iklim ve bağlayıcı tipine göre seçilerek, bu test yöntemiyle arazideki uzun-süre yaşlanma süreci temsil edildi. Düşük sıcaklık sertliğini ölçmek için de SHRP'de bir kırıç eğme reometresi geliştirilmiştir. Bu deneyde, kırıç orta noktasına sabit bir yük yüklenerek, kırıçin orta noktasındaki oturma 240 sn. için ölçülür ve bağlayıcının sertliği, kırıçin boyutlarından, uygulanan yükten ve ölçülen oturma miktarından hesaplanır. Testler kritik üstyapı sıcaklığı olan +10 °C'de yapıldı. Ek olarak, diğer bir yeni test prosedürü de "direk çekme gerilmesi testi"ne dayandırılarak SHRP'de geliştirildi. Bu test, bitümlerin düşük sıcaklık başarısızlıklarını değerlendirmek için, +5 °C'deki duktilite ve Frass kırılma noktası gibi testlerin yerine düşünüldü. Test, +10 °C'deki tipik üstyapı sıcaklığında, ısıl büzülme çatlaklarının meydana geldiği düşük sıcaklıklarda kullanıldı. Bütün bu testler üstyapı performanslarıyla ilişki kurmak amacıyla geliştirilmiştir.

Yaşlanma, üstyapının üretimi ve servis hayatı boyunca meydana gelmektedir. Bu durum farklı yaşlanma safhaları sırasında oldukça değişmektedir. Sahadaki yaşlanma prosesi oldukça komplekstir ve asfalt modülünün zamanla yaşlanmasıyla artmaktadır (Nazarian vd., 1993). Standart yaşlanma test yöntemleri, üstyapının üretimi sırasında meydana gelen yaşlanmayı temsile yöneliktir. Servis sırasındaki yaşlanmayı temsil etmek amacıyla, SHRP'de PAV (Basınçlı yaşlanma kabı) testi geliştirildi. Ayrıca, gene saha yaşlanmasını ölçmek amacıyla Belçika Yol Araştırma Merkezinde (BRRC) geliştirilen bir test yöntemi de vardır ki bu çalışmanın laboratuvar denemelerinde bu yöntem kullanılmıştır.

Bitümün kimyası çok karmaşıktır ve hatta polimer modifikasyonundan sonra dahada karmaşıklaşmaktadır. Bitümün yada PMB'ün kimyasal kompozisyonları üzerine istenilenleri içeren şartnameler bulunmamaktadır. Şartnamelerin bu tip özellikleri içermesinin gerekip gerekmediği de zaten şüphelidir ve sonuçta bu modifiye bağlayıcılar klasik bitümler değildir.

Sonuç olarak, polimer modifiye bitüm şartnamelerinin gelişmesi karışık bir iştir ve çeşitli modifiye bitümlerin performanslarının karmaşıklığı yüzünden, her ürüne uygun tek bir şartname yapmak zordur. Polimer modifiye bitüm ve klasik bitümlerin her ikisini de kapsayan SHRP şartnameleri ve test yöntemlerinin, klasik testlere kıyasla yollardaki bağlayıcı performansını önceden kestirmek için daha uygun olacağı umulmaktadır. Bu durumda daha kesin sonuçlara ulaşmadan önce, uzun yıllar tecrübeye ihtiyaç duyulacağı açıktır (Isacsson vd., 1995).

3.2.2 KGM Modifiye bitüm özel teknik şartnamesi

KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından bir modifiye bitüm özel teknik şartnamesi hazırlanmıştır. Şartname, Türkiye'nin koşullarına bağlı olarak, sıcak bölgelerde tekerlek izinde oturma (TİO) oluşmasını azaltmaya, soğuk bölgelerde termal nedenlerle çatlaklar oluşmasını engellemeye yönelik olarak hazırlanmıştır (Aray, 1997).

Ayrıca, bitüm modifikasyonunun bir başka amacı da kaplama yüzeyinde istenilen düzeyde kayma direncinin sağlanmasıdır. Kayma direnci, kaba agrega oranı fazla ve genelde kesikli gradasyonlu karışımlarla sağlanmaktadır. Bu tür karışımların durabilitesi ise film kalınlığı fazla, yapışması, esnekliği ve yumuşama noktası yüksek, kırılma noktası düşük, yüksek oranlı bitümlerle sağlanmaktadır. Bitüm modifikasyonu, normal bitümlerle sağlanamayan bu koşulların elde edilmesine olanak tanımaktadır (Önal, 1997).

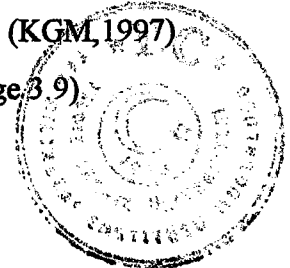
Ülkemiz koşulları göz önünde bulundurularak, belirtilen bu amaçları sağlayabilmek için hazırlanan modifiye bitüm özel teknik şartnamesi;



- 1- İncelenen literatürlerde; modifikasyonun çoğu ülkelerde eskiden beri ağırlıklı olarak bitümün önceden iyileştirilmesi yolu ile yapılması,
- 2- Çeşitli ülkelere ait mevcut şartnameler incelendiğinde; çoğu kalite kontrol deneylerinin modifiye bitümün özelliklerine ait olması, buna karşı karışıma ait modifikasyonun kalite kontrol deneylerinin sıkça yer almadığının görülmesi,
- 3- Ayrıca şartnamelerde yaygın olarak yer almayan, karışıma yönelik testler için, KGM laboratuvarlarında yeterli test ekipmanlarının olmaması,
- 4- Son yıllarda KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'na tanıtım ve kalite kontrolü için verilen malzemelerin ağırlıklı olarak bitüm modifikasyonuna yönelik olması,(daha sonra direkt olarak mikserde karıştırılan katkı tipleri de bazı firmalarca önerildiyse de; bu katkılarla agregasız bitümün karıştırılabilmesinin laboratuvar şartlarında mümkün olmaması, (zira katkılar bitüm içerisinde erimemiş ve homojen bir karışım sağlayamamıştır.),
- 5- Mevcut laboratuvar şartlarında modifiye bitümün, yaygın olarak kullanılan deneylerinin yapılabilmesi ve dolayısıyla orijinal bitüme göre değişen özelliklerinin bire bir değerlendirilebilmesi yapıp, mevcut şartnamelere göre kıyaslanmasının yapılabilmesi,

nedenleriyle bitüm modifikasyonunu içermekte olup, mikserde oluşturulan modifikasyon tipini içermemektedir (Malkoç, 1997).

Şartnamede, karışımın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarına ve kaplamanın tipine bağlı olarak, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerde ve Güney Doğu Anadolu'nun güney kesimlerinde Tip1 veya Tip2, Karadeniz,Marmara, İç Anadolu, İç Batı Anadolu, Güney Doğu Anadolu'nun kuzey kesimlerinde ve Doğu Anadolu'nun diğer kesimlerinde Tip3 ve Doğu Anadolu'nun diğer kesimlerinde Tip 4'ün kullanılması koşulları (KGM,1997) getirilerek 4 ayrı tip için modifiye bitüm şartname sınırları verilmektedir (Çizelge.3 9)



Çizelge 3.9 KGM Modifiye bitüm şartnamesi test limitleri

	DENEY ADLARI		TİP 1	TİP 2	TİP 3	TİP 4	DENEY STANDARDI
1	PENETRASYON (25 °C, 100gr. 5 sn.)	Min	20	20	40	60	TS-118
2	DÜKTİLİTE (25 °C, 5 cm/dk), cm.	Min	10	60	80	100	TS-119
3	YUMUŞAMA NOKTASI (Bilya-Halka Metodu ile), °C	Min	65	65	55	45	TS-120
4	FRASS KIRILMA NOK. °C	Max	-12	-8	-15	-20	TS-11758
5	ELASTİK GERİ DÖN.(°C),(%)	Min	-	50	50	50	Bkz.Not:1
6	PARLAMA NOKTASI, °C	Min	200	200	200	200	TS-123
7	ÖZGÜL AĞIRLIK		1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	TS-1087
8	DEPOLAMA STABİLİTESİ :						Bkz.Not:2-3
8.1	YUMUŞAMA NOK. FARKI °C	Max	2	2	4	4	
8.2	PENETRASYON DEĞERİ FARKI (°C)	Max	5	5	5	5	
9	ISITMA KAYBI (163 °C,5 saat) :						TS-121
9.1	KÜTLE KAYBI, (%)	Max	1	1	1	1	
9.2	YUMUŞAMA NOKTASINDAKİ DEĞİŞİKLİK :						TS-120
	Artış, °C	Max	6.5	6.5	6.5	6.5	
	Azalış, °C	Max	2.0	2.0	2.0	2.0	
9.3	DÜKTİLİTE (25 °C,5cm/dk), cm	Min	5	40	60	80	TS-119
9.4	ELASTİK GERİ DÖNME (25 °C), (%)	Min	-	50	50	50	Bkz.Not:1

Not : 1 Denei yöntemi KGM Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından belirlenecektir.

Not : 2 Denei yöntemi ve standardı için idare tarafından aksi belirtilmedikçe, malzeme 180 °C'de 3 gün boyunca depolandıktan sonra , alt ve üst kısımlarından ayrı ayrı alınan numunelere 8.1 ve 8.2'de belirtilen yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleri yapılacaktır.

Not : 3 Modifiye bitüm depolanmayacaksa bu şart aranmayacaktır.



BÖLÜM 4

BITÜM VE BITÜMLÜ KARIŞIMLARDA KULLANILAN KATKILAR

4.1 Giriş

Günümüzde bir çok değişik madde asfalt katkıları ve modifiyerleri olarak değerlendirilmekte ve pazarlanmaktadır. Tüm bu maddelerin kullanılmasının amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların özelliklerinin iyileştirilmesidir.

Bitümlü bağlayıcıların ve karışımların modifiye edilmesi konusu yeni bir konu değildir. Fakat, özellikle son yıllarda bu konudaki çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Bu durumun ana sebebi, petrol rafinerilerinin ham petrolü elde etme ve işleme safhalarındaki değişimlerdir. 1973 yılındaki petrol ambargosunu takiben geleneksel kaynaklar değişmiş, tek bir hammadde kaynağına bağlı olan bir çok rafineri birden fazla kaynaktan gelecek ham petrolü işlemek zorunluluğuyla karşı karşıya kalmıştır. Bu değişimler üst yapı karışımlarında kullanılacak asfalt çimentosunda aranan niteliklerin karşılanmasını zorlaştırmıştır. Bu durum, asfalt çimentosunun modifiye edilerek istenilen niteliklere ulaştırılması için zorlayıcı olmuştur.

Bazı ülkelerde yüklenici firmadan performans garantisi istenmektedir. Bu durumda da modifiyer kullanımı, ilk yapım masraflarında göreceli bir artışa sebep olmakta fakat performansın artmasını ve uzun vadede maliyetin düşmesini sağlayacağı düşünülmektedir (Terrel ve Epps, 1989a).

Bitümlü bağlayıcı ve karışımların modifiye edilmesine karşı duyulan ilginin artmasında etkili olan diğer faktörler şöyle sıralanabilir:

- 1- Her zaman için ham petrol ve bitüm fiyatlarında artış tehlikesi vardır,
- 2- Yüksek maliyetler daha ince kaplamaların inşası eğilimini doğurmuş, bu durumda da hizmet ömürlerinde düşüşler görülmüştür,



- 3- Trafik yüklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir,
- 4- Kaynak sıkıntılarında dolayı gerekli onarımların zamanında yapılamaması durumuyla oldukça sık karşılaşılmıştır,
- 5- Yakıt dökülmeleri gibi özel durumlara karşı dayanımın artırılması gereksinimleri olmuştur,
- 6- Bazı endüstriyel atıkların ortadan kaldırılabilmesi veya başka bir yere nakledilmesi konusunda oluşan çevreci ve ekonomik baskılar sonucu bu atıkların bitüm katkı maddesi olarak kullanılması düşüncesine sebep olmuştur,
- 7- İnşaat ekipmanlarındaki gelişme, katkı kullanılması olanağını sağlayabilecek seviyeye ulaşmıştır (Terrel ve Eps, 1989a).

Bu ve bunun gibi faktörlerle, dünyada modifiye bitüme olan ilginin artmasına paralel olarak, değişik iklim ve coğrafya koşullarının bulunduğu bölgelere sahip olan ülkemizde de bu konuda bazı çalışmalar yapılmakta olup, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından bir "Modifiye Bitüm Özel Teknik Şartnamesi"(Bölüm 3.2.2) hazırlanarak yürürlüğe konulmuştur.

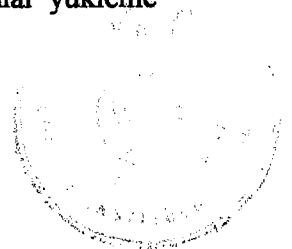
4.2 Bitüm ve Bitümlü Karışımlarla İlgili Bazı Terimler

Reoloji: Gerileme-deformasyon ilişkileri zamana (yükleme hızına) bağlı olan cisimlerin mekanik davranışını inceleyen bilim dalı (Uluçaylı, 1997).

Modifiye Bitüm: Çeşitli katkı maddeleri katılarak tadil edilmiş, değiştirilmiş, iyileştirilmiş bitüm.

Viskozite: Kıvamlı cisimlerin akmaya karşı gösterdiği direnç.

Viskoz Malzeme: Yüklemeye süresince deforme olan ve yük kaldırıldığında deforme olduğu halde kalan malzemelerdir. Bu tip malzemelerde meydana gelen deformasyonlar yüklemeye şekillerine ve yüklemeye süresine göre değişir (Yağız vd., 1967).

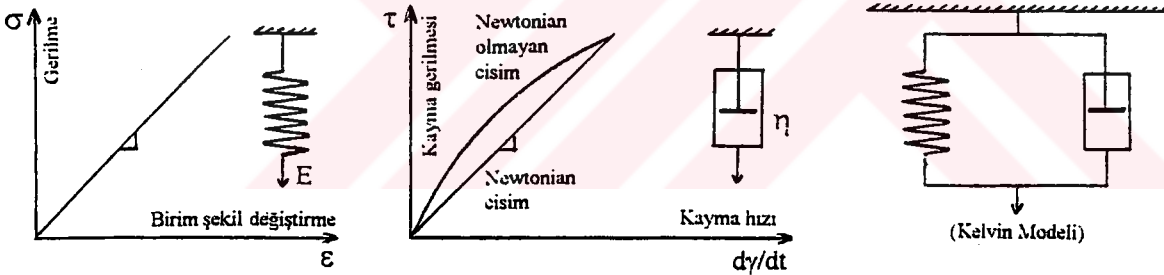


Elastik Malzeme: Yükleme süresince deforme olan fakat yük kaldırıldığında eski şekline dönebilen malzemelerdir (Yağız vd., 1967).

Visko-Elastik Malzeme: Yük altında ne elastik ne de viskoz bir karakter göstermezler (Yağız vd., 1967) Yüksek yükleme hızlarında (hızlı taşıtlar) elastik, düşük yükleme hızlarında (yavaş taşıtlar) viskoz, orta yükleme hızlarında ortak elastik ve viskoz davranış gösteren malzemelerdir. Böyle malzemelerin (su, asfalt, beton, v.s.) davranışına da viskoelastisite adı verilir (Uluçaylı, 1997).

Bitüm, ayrıca Termoplastik bir malzeme olup, düşük sıcaklıklarda daha çok elastik, yüksek sıcaklıklarda viskoz davranış gösterir (Uluçaylı, 1997).

Bitümün bu özellikleri aynen bitümlü karışımlarda da görülür. Asfalt betonu da visko-elastik davranış gösterir. Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'de sırasıyla Elastik, Viskoz ve Viskoelastik cisimler şematik olarak gösterilmektedir (Uluçaylı, 1997).



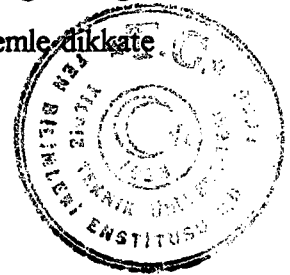
Şekil 4.1 Elastik Cisim

Şekil 4.2 Viskoz Cisim

Şekil 4.3 Viskoelastik Cisim

Newtonian Malzeme: Uygulanan yük ile meydana gelen birim uzama arasındaki ilişki lineer olan malzeme (Yağız vd., 1967).

Tekerlek İzi (Oluklanma): Her dingil geçişinde çok küçükte olsa üst yapıda kalıcı deformasyon meydana gelir. Dingil geçişi tekerrürlerinde bu deformasyonlar üst üste biner ve kalıcı deformasyonlar büyür. Bu şekilde meydana gelen oluklanma, genellikle ağır trafiğin kanalize olduğu dış şeritte oluşur. Bu nedenle, üst yapı dizaynında tekerrür önemle dikkate alınır (Uluçaylı, 1997).



Yorulma (Fatigue) : Cisimler küçük bir deformasyona maruz bırakıldıklarında ve bu durum binlerce, milyonlarca defa tekrarlandığında, yorulurlar ve kırılırlar (veya koparlar). Bitümlü karışımlar da yorulurlar. Bunda bitümün rolü büyük, hatta tayin edicidir (Uluçaylı, 1997).

Adezyon: Adezyon "yapışma" demektir. Bir sıvının bir katıya yapışabilmesi için ilk şart katı cismin ıslatabilmesidir (Uluçaylı, 1997).

Kohezyon: Cisimlerin kendi içindeki "yapışma" veya kopmaya karşı mukavemetidir (Uluçaylı, 1997)

4.3 Bitüm ve Bitümlü Karışımların Modifikasyonu

Esnek üstyapı karışımlarında kullanılan bitümün, asfalt çimentosu, emülsiyonlar, katbekler gibi bitüm çeşitlerinin modifiye edilmesi mümkündür.

Piyasada çok çeşitli olarak bulunan katkı maddelerinin hepsinin amaçlanan iyileştirmeyi sağlayamadığı görülmektedir. Bunlardan bazıları sadece endüstriyel atıklardan oluşur ve katkı maddesi olarak piyasaya sürülür. Diğerleri ise yine bazı endüstri kollarının yan ürünleriye de bağlayıcıdaki fiziksel ve kimyasal değişimleri sağlamak için formülize edilirler. İşte bu tip ürünler, özellikleri açıkça ortaya koyulmak suretiyle bitüm modifikasyonunda kullanılırlar. Her ürünün özellikleri belirli bir problemi çözebilmek için dikkatlice değerlendirilmeli ve bu şekilde istenen iyileştirmeler elde edilmelidir.

Bitümlü Sıcak Karışımların (BSK) arazi performansı hakkında üç potansiyel tehlike vardır (Terrel ve Epps, 1989a):

1- Kalıcı Deformasyonlar:

- a- Tekerlek izi (oluklanma),
- b- Çökmeler,
- c- Kabarmalar,
- d- Yığılmalar,
- e- Ondüleler (Çakıroğlu, 1996).



2- Çatlamalar :

- a- Tekrarlı yüklerden dolayı,
- b- Yüksüz, termal çatlaklar.

3- Ayrılmalar:

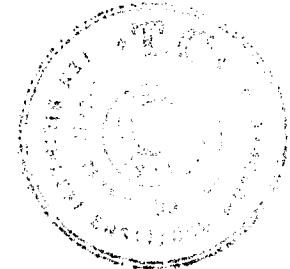
- a- Sökülme,
- b- Soyulma (Rutubet hasarı).

Bitümlü sıcak karışımlarda görülen bu problemleri gidermek bakımından değişiklik yapabilecek bir kaç olasılık şöyle belirtilebilir:

- 1- Kaplama dizaynının geliştirilmesi (Yapısal, Drenaj, Malzeme vb.),
- 2- Üstyapı Malzemelerinin ve üstyapıların şartname özelliklerinin gözden geçirilmesi,
- 3- İnşaat süresindeki kalite kontrolün iyileştirilmesi,
- 4- Bağlayıcı sistemlerinin geliştirilmesi.

Bu şıkların tümünün bir arada gerçekleşmesi doğal olarak performansı olumlu yönde etkileyecektir. Fakat konu itibariyle 4.maddede belirtilen "Bağlayıcı sistemlerinin geliştirilmesi" hususu bu çalışmanın konusudur. İdeal bir bağlayıcının şunları sağlaması istenir (Terrel ve Epps, 1989a):

- 1- Yüksek sıcaklıklarda (yaz mevsimi) tekerlek izlerinin en aza indirilmesi için yeterli rijitliğe sahip olmalıdır. Bununla birlikte Bitümlü Sıcak Karışımın yorulma ömrünü arttırmalıdır,
- 2- Düşük sıcaklıklarda (kış mevsimi) ise yeterli esnekliğe sahip olup, termal çatlakları engellemelidir,
- 3- İnşaat sırasında sıvı bağlayıcının pompalanmasını hızlandırmalı, BSK'nın karıştırılması ve sıkıştırılabilmesi için sertliği (veya viskoziteyi) düşürmelidir,
- 4- Rutubetli ortamlarda soyulmayı azaltmak için bitüm ile agrega arasındaki adezyonu arttırmalıdır.



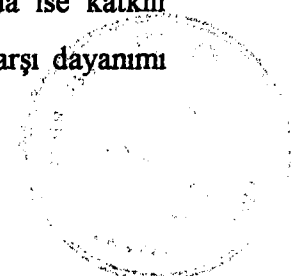
Bu değişik durumlar karşısında karşımın özelliklerinin değiştirilebilmesi için karşım dizaynını değiştirmek veya bitüm miktarıyla oynamak yeterli olur gibi görünmekteyse de katkı kullanımı yeni olasılıklar ve seçenekler ortaya koymaktadır.

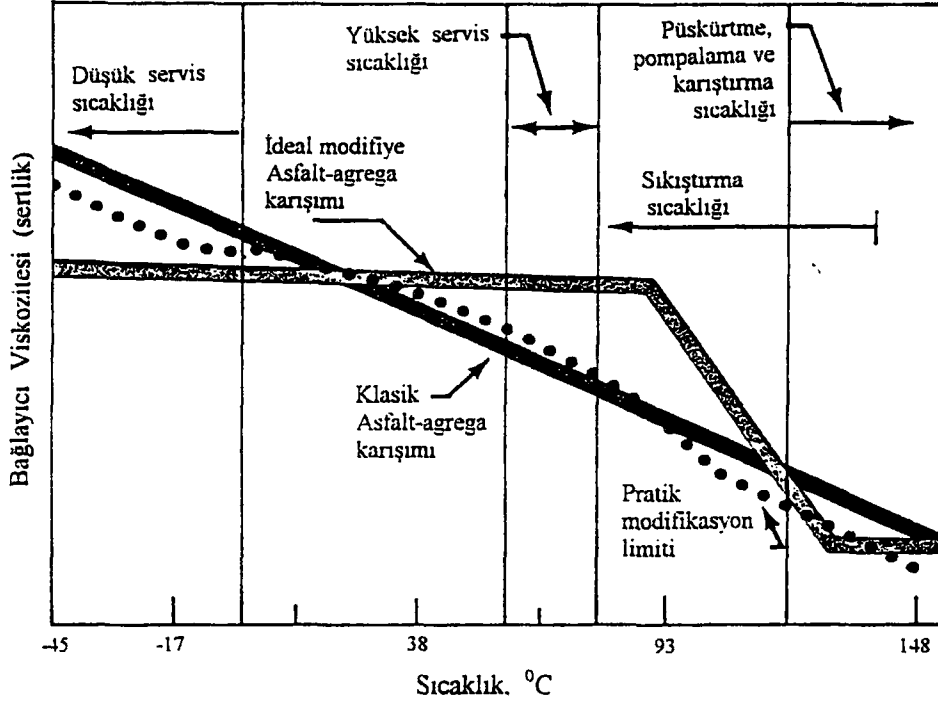
Modifiye bitümlerin çoğu genellikle yoğun gradasyonlu BSK'da ve açık gradasyonlu sürtünme tabakalarında kullanılmaktadır. Yapay lateks "chip seals"de kullanılırken, doğal lateks genelde "slurry seal"de kullanılır. Sıkça kullanılan diğer modifiyerler ise işlenmiş kauçuk, blok kopolimerler ve soyulma önleyici kimyasal maddelerdir.

Mineral fillerler, genleştiricilerin bazıları, kauçuklar, plastikler, fiberler, oksidanlar ve hidrokarbonlar sertliği; yüksek sıcaklıklarda arttırıp, düşük sıcaklıklarda azaltmak için kullanılırlar. Suyun bulunduğu durumlarda bitüm agrega arasındaki adezyonu arttırmak ve soyulmaya karşı direnç sağlamak için kimyasal maddeler ve kireç kullanılır. Kauçuk ve plastik gibi bazı polimerik maddeler ikinci bir fayda olarak adezyonun artmasına yardımcı olurlar. Bunlara ek olarak mineral fillerler, antioksidanlar ve hidrokarbonlar bağlayıcının uzun dönemde dayanıklılığını da olumlu yönde etkilerler.

Asfalt çimentolarında kullanılan modifiyerlerin konstrüksiyon safhasındaki etkileri çok çeşitlidir ve önceden tahmin edilmesi çok zordur. Herhangi bir modifiyerin klasik asfalt çimentosu üzerindeki etkilerinin bilinmesi uygulayıcının gerekli taşıma, karştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını doğru seçmesine yardımcı olacaktır.

Şekil 4.4 tipik bir asfalt çimentosu için sıcaklık-viskozite ilişkisini göstermektedir. Şekil üzerinde aynı zamanda modifiye asfalt çimentosu için benzer bir eğri gösterilmiştir. Yaklaşık 90 °C üzerinde, inşaat sırasında çalışabilirliği arttırmak amacıyla viskozite düşürülür. 20-80 °C arasında ise oluklanmayı önlemek için viskozite arttırılır. 5 °Cnin altında ise katkılı karşımın sertliği normalden düşüktür. Bu ise düşük sıcaklık çatlamalarına karşı dayanımı artırır (Terrel ve Epps, 1989a).



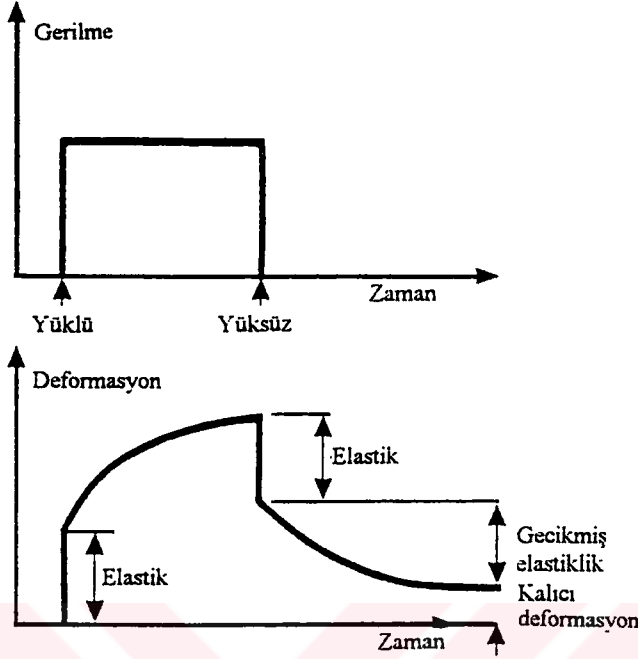


Şekil 4.4 İdeal bir modifiyerle sağlanabilen, karışımın sertliğinde oluşan değişimler (Terrel ve Epps, 1989a)

4.3.1 Bitümlü karışımlarda katkı maddelerinin rolü

Bitüm, tüm bitümlü malzemelerin viskoelastik davranışlarının sebebi olduğundan, üstyapı performansının bir çok özelliğinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Kalıcı deformasyonlara ve çatlaklara karşı direnç tipik örneklerdir. Bir bitümlü malzemede maruz kalınan deformasyon oranı, yükleme süresi ve ısı ile birlikte artar. Bu etki şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

Şekil 4.5 basit bir akma testinde bitümlü malzemenin davranışını göstermektedir. Uygulanan yükü meydana gelen deformasyon, yükleme kaldırılıncaya kadar, zamanla tedrici bir deformasyon artışından sonra bir anlık elastik davranış gösterir. Deformasyondaki zamanla meydana gelen değişim, malzemenin viskoz davranışından dolayıdır. Yükün kaldırılmasıyla, anlık elastik deformasyon ve zamanla bazı ilave elastik deformasyonlar da oluşur. Bu "gecikmeli geri dönüş" olarak bilinir. Sonuç olarak, malzemenin viskoz davranışından dolayı bir miktar kalıcı deformasyon sözkonusudur.

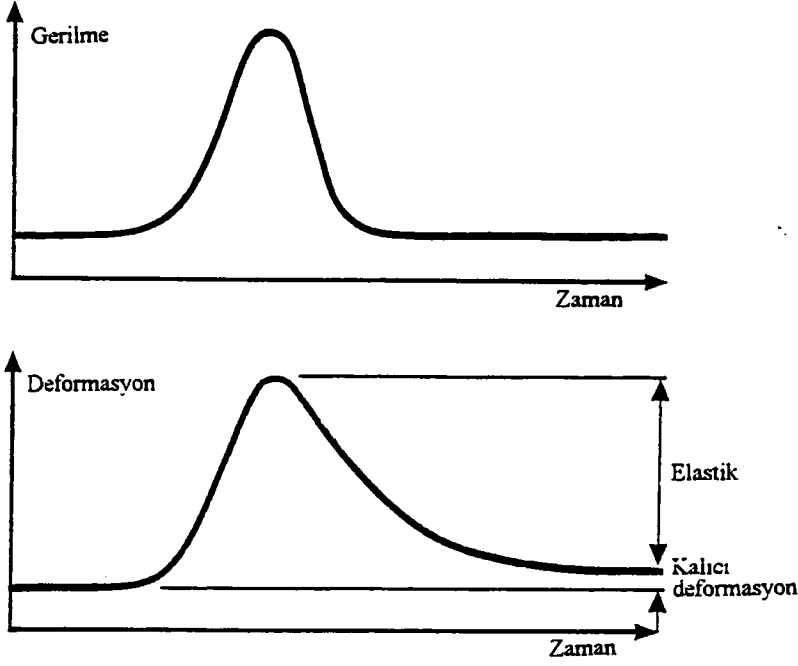


Şekil 4.5 Statik yüklemde viskoelastik davranış (Whiteoak, 1991).

Şekil 4.6'da bir bitümlü karışımda, hareketli trafik yükleri nedenleriyle meydana gelen deformasyon davranışı görülmektedir. Burada, elastik davranışın iki bileşenini birbirinden ayırmak mümkün değildir. Ancak, küçük kalıcı deformasyon ve daha büyük elastik deformasyon söz konusudur. Şekil 4.6'da gösterilen, tek yüklemeyle meydana gelen küçük kalıcı deformasyon, üstyapıdaki bir kaç milyon yükleme sonucunda büyük bir yığılma yüzey deformasyonuna yani oluklanmaya neden olacaktır. Çevre sıcaklığının yüksek olduğu durumda ve trafiğin yavaş hareket ettiği yada durduğu yerlerde niçin daha fazla deformasyon meydana geldiği bu şekilde açıklanmış olmaktadır.

Bitüm katkı maddelerinin asıl rollerinden birisi bitümün yada bitümlü karışımın diğer sıcaklıklardaki özelliklerini etkilemeksizin yüksek yol sıcaklıklarındaki direncini arttırmaktır. Bu hem asfaltın viskoelastik özelliğini azaltan bitüm sertleşmesi ile (buna karşılık gelen kalıcı deformasyonlarda da azaltamaya sebep olur) hem de bitümün elastik bileşenlerinin artırılması ile (buda viskoz bileşimin azalmasına ve yine karşılık gelen kalıcı deformasyonun azalmasına sebep olur) başanılır.





Şekil 4.6 Hareketli tekerlek yükü altında viskoelastik davranış (Whiteoak, 1991)

Bitüm sertliğinin artması hemen hemen üstyapının dinamik sertliğinin artmasına da sebep olur. Böylece malzemenin yük yayma kabiliyetinin iyileştirilmesi ile yapısal gücün ve üstyapının beklenen proje ömrünün artması söz konusu olacaktır. Alternatif olarak aynı yapısal gücün daha ince bir tabaka ile de elde edilmesi mümkün olabilir. Bitümün elastik bileşiminin artması da yüksek çekme gerilmelerinin, önemli olduğu yerlerde üstyapının esnekliğini iyileştirmiş olacaktır. (Whiteoak, 1991).

4.3.2 Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilme sebepleri

Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile, en genel anlamda yol üst yapılarının yüksek yol sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak oluklanma, ötelenme ve ondülasyon gibi deformasyonlara karşı dirençli olması düşük yol sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamalara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır. Ayrıca, trafik yükleri altında yorulma deneniyle meydana gelen çatlamlar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenilen seviyede kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin sağlanması amaçlanmaktadır.



Genel anlamda bu şekilde ifade edilebilen, bitümün modifiye edilme sebepleri maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Düşük servis sıcaklıklarında daha yumuşak karışımlar elde etmek ve böylece çatlakları azaltmak,
- 2- Yüksek servis sıcaklıklarında daha sert karışımlar elde etmek ve böylece tekerlek izlerini (oluklanmayı) azaltmak,
- 3- Kayma direnci yüksek kaplama yüzeyleri elde etmek,
- 4- Uygulama sıcaklıklarında viskoziteyi düşürerek işlenebilirliği ve sıkıştırmayı geliştirmek,
- 5- Karışımların mukavemet ve stabilitesini arttırmak,
- 6- Karışımların aşınma direncini arttırmak ve çözülme azaltmak,
- 7- Sertliğini kazanmamış yumuşak karışımların sertleşmesini hızlandırmak,
- 8- Karışımların yorulma direncini arttırmak,
- 9- Verimi çok düşük olan asfalt çimentolarının verimini arttırmak,
- 10- Yaşlanmış (kullanılmış) asfalt bağlayıcıları gençleştirmek,
- 11- Asfalt bağlayıcılarını ve karışımlarını güçlendirmek,
- 12- Düşük kaliteli agregaları kullanılabilir hale getirmek,
- 13- Ani akmayı önlemek,
- 14- Agregaların üzerinde daha kalın bağlayıcı filmleri oluşturarak, bağlayıcı ve agregaların birbirine yapışma özelliğini iyileştirip soyulmayı azaltmak,
- 15- Akmayı yada terlemeyi azaltmak,
- 16- Çatlakların dolmasını sağlamak,
- 17- Yakıt dökülmelerine karşı dayanım sağlamak,
- 18- Yaşlanmaya yada oksidasyona karşı dayanımı arttırmak,
- 19- Kaplama tabakalarının yapısal kalınlıklarını azaltmak,
- 20- Yansıma çatlaklarını önlemek,
- 21- Yapım mevsimini uzatmak,
- 22- Uygulama alanlarını zenginleştirmek,
- 23- Absorbsiyonu minimize etmek,
- 24- Yapıştırıcı tabaka olarak kullanabilmek,
- 25- Kaplamaların her bakımdan performansını yükseltmek,
- 26- Kaplamaların uzun vadede ekonomik olmasını sağlamak.



Üstyapı kaplamasından beklenen, ancak klasik bağlayıcılar ile sağlanamayan bu özelliklerden, sözkonusu proje için özellikle hedeflenenlerin sağlanabilmesi, günümüzün teknolojik olanakları da kullanılarak, bağlayıcının yada karışımın katkı maddeleriyle modifiye edilmesi sonucunda mümkün olabilmektedir.

4.3.3 Modifiye yöntemleri

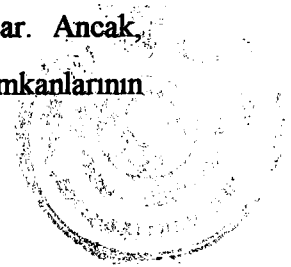
Modifikasyon işlemi genel olarak iki türlü yapılabilmektedir. Bunlar:

- 1- Katkı maddesi bitüme katılarak, ' modifiye bitüm' elde edilir.
- 2- Katkı maddesi, asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılarak, 'modifiye karışım' elde edilir.

Bitümün modifikasyonunda, modifiye bitüm çeşitli standart test yöntemleri uygulanarak bitüm özelliklerindeki değişmelerin tespit edilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece, modifiye bitümün özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirmesi yapılabilmektedir. Ancak, bitümün modifiye edilmesi yönteminde, bu işlem için genellikle ilave ekipmanlar gerekmekte, hazırlanan modifiye bitümün depolanması, taşınması gibi sorunlar söz konusu olmaktadır.

Karışımın modifikasyonunda ise, katkı maddesi asfalt plentinde karışıma katılabildiğinden ilave karıştırma ekipmanı gerekmemekte, depolama, taşıma v.s. gibi sorunlarla karşılaşılmamakta, ancak bu durumda da karışımdan modifiye bitümü çekerek özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi pratik olmamaktadır.

Bilindiği gibi bağlayıcı özelliklerin belirlenmesinde uygulanan test yöntemleri, karışım özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan test yöntemlerine göre daha pratik ve daha kısa sürelerde yapılabilmektedir. Karışıma yönelik testlerde, daha uzun sürelere, daha fazla işlemlere ve daha kapsamlı test ekipmanlarına gereksinim duyulmakla birlikte üstyapı performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesinde daha temsili olmaktadır. Ancak, ülkemizde konuyla ilgili kurumlardaki laboratuvarlarda karışımlara yönelik test imkanlarının



gelişmiş ülkelerdekine göre düşük seviyede olduğu bilinmektedir. Karışıma yönelik test imkanlarının ülkemize transfer edilmesi ile gerek klasik üstyapı karışımlarının performanslarının daha sağlıklı bir şekilde tespit edilmesi bakımından gerekse bu karışımların iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak katkı maddelerinin amacına uygun seçilmelerinde büyük faydalar sağlanacaktır.

4.3.4 Bitüm katkı maddelerinde ve modifiye bitümlerde aranılan özellikler

Modifikasyonda kullanılacak katkı maddelerinin ve modifiye bitümlerin uygulamada etkili, pratik ve ekonomik olması bakımından bazı koşulları sağlaması gerekmektedir:

4.3.4.1 Bitüm katkı maddelerinde aranılan özellikler

Katkı maddelerinin şu koşulları sağlaması istenir (Whiteoak, 1991):

- 1- Kolay elde edilebilmelidir,
- 2- Asfalt karışım sıcaklığında özelliğini kaybetmemelidir,
- 3- Asfalt ile homojen olarak karışabilmelidir,
- 4- Asfaltın yüksek karıştırma ve serme sıcaklıklarında, çok fazla viskoz hale getirmeden, yüksek yol sıcaklıklarında akışkanlığa karşı direncini arttırmalıdır,
- 5- Düşük sıcaklıklarda ise asfaltın çok kırılgan veya sert olmamasını sağlamalıdır,
- 6- Maliyeti ekonomik olmalıdır.

4.3.4.2 Katkılı bitümlerde aranılan özellikler

Katkı maddelerinin bitüm ile karıştırılmasından sonra ise şu özelliklere sahip olması istenir (Whiteoak, 1991):

- 1- Depolama, uygulama ve hizmet sırasında sahip olduğu özelliklerini korumalıdır,
- 2- Uygun ekipman ile işlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır,
- 3- Depolama, uygulama ve hizmet sırasında fiziksel ve kimyasal olarak stabil olmalıdır,
- 4- Normal uygulama sıcaklıklarında püskürtülebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığını sağlayabilmelidir.



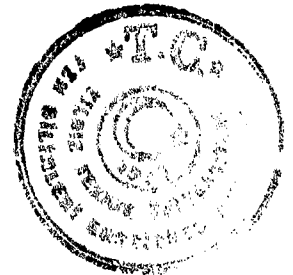
4.4 Bitüm Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması

Bitüm katkı maddeleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Katkı maddesinin tipini, örneklerini ve katkı maddesinin bitüm kıvamına etkisini gösteren genel bir sınıflandırma Çizelge4.1'de verilmiştir:

Çizelge 4.1 Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması (Terrel ve Epps, 1989a)

TİP	ÖZELLİKLER	Modifiyerlerin Asfalt Çimentosunun Kıvamına Genel Etkisi
1- Filler	<ul style="list-style-type: none"> • Mineral Filler : Taş tozu Kireç Portland çimentosu Uçucu kül • Karbon siyahı • Sülfür 	Sertleştirme
2- Extender	<ul style="list-style-type: none"> • Sülfür • Lignin (Odun özü) 	Sertleştirme
3- Kauçuk a) Doğal lateks (Kauçuk ağacı özsuğu) b) Yapay lateks c) Blok copolymer d) İşlenmiş kauçuk	POLİMERLER	*
4-Plastik		<ul style="list-style-type: none"> • Doğal kauçuk • Strene -butadien veya SBR • Strene-butadien-Strene veya SBS • Dönüştürülmüş kauçuk • Polietilen • Polipropilen • Etil-vinil-asetat, EVA • Polivinil klorid, PVC
5- Bileşim	• 3 ve 4'deki polimerlerin karışımı	*
6- Fiber	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal : Asbest Taş yünü • Yapay : Polipropilen Polyester Fiberglas 	Sertleştirme
7- Oksidan	• Manganez tuzu	Sertleştirme
8- Antioksidan	<ul style="list-style-type: none"> • Kurşun karışımları • Karbon • Kalsiyum tuzu 	Yumuşatma
9- Hidrokarbon	<ul style="list-style-type: none"> • Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları • Setleştirme ve doğal asfaltlar 	Yumuşama veya Setleştirme
10- Soyulma önleyici	<ul style="list-style-type: none"> • Aminler • Kireç 	Yumuşatma

*Bazı malzemeler, sıcaklık sırasına bağlı olarak asfalt çimentosunu sertleştirir yada yumuşatır.



Ancak, son yıllarda kullanımı oldukça artan modifiye bitümler ve modifiye karışımlar konusundaki çalışmalar ve yayınlar da farklı tip katkı maddelerinin mukayesesinden katkı maddesi olarak polimerlere ilginin arttığı, hatta bitüm katkı maddeleri sınıflandırılırken polimerler esas alınarak, polimer olan katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu şekildeki bir sınıflandırmaya göre Bitüm Modifikasyon Tipleri Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

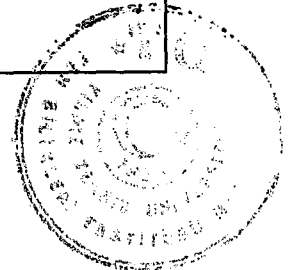
Çizelge 4.2 Bitüm modifikasyon tipleri (Francken, 1997)

Modifikasyon Tipleri	Örnekler
I. Polimer olmayan katkıyla modifikasyon 1-Fillerler 2-Soyulma önleyici katkılar 3-Ekstenderler 4-Anti-oksitanlar 5-Organo-metal bileşimleri 6- Diğerleri	Kil, karbon siyahı, uçucu kül Organik aminler ve amidler Lignin, sülfür Çinko anti-oksitanlar, Kurşun anti-oksitanlar, phenolikler, aminler Organo-manganez bileşimleri Organo-kobalt bileşimleri
II. Polimer Modifikasyon 1-Plastikler a-Termoplastikler b-Termosetler 2-Elastomerler a-Doğal kauçuklar b-Yapay elastomerler 3-İşlenmiş kauçuklar 4-Fiberler *	Poliyeten (PE), Polipropen (PP) Polivinil klorid (PVC), Polistren (PS), Etilen vinil asetat (EVA). Epoksi reçineler Sentetik-butadien kopolimer (SBR), Stren-butadien-stren kopolimer (SBS), Etilen-propen-dien terpolimer (EPDM), İsobüten-isopren kopolimer (IIR). Polyester fiberler, Polipropen fiberler
III. Kimyasal Reaksiyon Modifikasyonu	Katkı reaksiyonu (bitüm+monomer) Volkanizasyon (bitüm+sülfür) Nitrosyon reaksiyonu (bitüm+nitrik asit)

*Bazı başlıca fiber malzemeleri Çizelge4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.3 Bazı başlıca fiber malzemeleri (Francken 1997)

Doğal Fiberler	Yapay Fiberler	
	Organik Tip	İnorganik Tip
Selüloz Yün Asbestler (Silikat)	Polipropen Polyester Poliüretan Aromatik polimidler	Karbon Cam Çelik



Yaygın olarak kullanılan bazı modifiyerlerin bitüm özellikleri üzerindeki etkisi Çizelge 4.4'de, bundan ayrı olarak bitümlü karışımlara eklenen kimyasal katkıların olumlu etkileri Çizelge 4.5'de verilmektedir.

Çizelge 4.4 Değişmiş sonuç özellikleri ile bazı yaygın kullanılan modifiyerler arasında ilişki (Morgan ve Mulder, 1995)

Modifiyer	Etkilenmiş Özellik
Yağ	Bitümün yapısı Bağlayıcılık Viskozite Penetrasyon değeri Yumuşama noktası
Filler tozu	Yumuşama noktası Viskozite Sertlik Yoğunluk Maliyet Mekanik sağlamlık
Fiberler	Tiksotropik Çatlak direnci Viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak) Sertlik (soğuk) Bağlayıcılık Adezyon
APP (Ataktik polipropilen) EVA (Etilen vinil asetat)	Sertlik Penetrasyon değeri Frass kırılma noktası Yumuşama noktası
SBS (stren-butadien-stren)	Penetrasyon değeri Yumuşama noktası Elastik geri dönüş Düşük sıcaklık kırılma noktası
Solvent	Viskozite
Emülsifikasyon	Viskozite Islatma kabiliyeti Uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti Adezyon



Çizelge 4.5 Bitümlü karışımlarda kimyasal katkıların olumlu etkileri
(Cavsey ve Wang, 1991)

Kimyasal Katkıların Rolü									
Kimyasal Katkılar	Yaşlanma Sertliğini Azaltma	Rutubet Zararı Hassasiyetini Azaltma	Agrega Bağlayıcı Değişikliği	İşlenebilirlik Gelişimi	Adezyon Gelişimi	Stabilitede Artma	Tekerlekizi Direncinde Artma	Soyulmaya Karşı Özelliklerinde Gelişme	Gevreklikte Artma
Hidrate Kil	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Portland Çimentosu				✓	✓	✓	✓		
Manganez Modifiyesi			✓	✓	✓		✓	✓	✓
Katyonik Yüzey Aktif Ajanları	✓	✓		✓	✓	✓			
Sülfür				✓		✓	✓		✓
Organik Polimerler				✓		✓	✓		

Belli başlı üstyapı problemlerine karşı, bağlayıcı ve üstyapı karışımının iyileştirilmesi için, yukarıdaki sınıflandırmalarda görülen ve yaygın olarak kullanılan modifiyerler Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6 Üstyapı problemlerine karşı üstyapının iyileştirilmesi için kullanılan modifiyerler
(Leahy vd., 1994)

Problem Türü	Modifiyer
Yaşlanma	SBR (Stren-butadien) Oksidan Antioksidan Mineral fiber
Yorulma	SBR (Stren-butadien) EVA (Etil vinil asetat) Oksidan
Kalıcı deformasyon	SBS (Stren-butadien-stren) Mineral filler
Isısal çatlamlar	SBS (Stren-butadien-stren) Ekstender (Genleştirici)

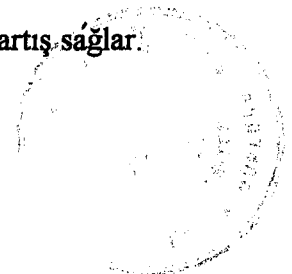
4.4.1 Fillerler (Terrel ve Epps, 1989b).

Mineral fillerler, agregaların kırılıp elenerek küçük parçalara ayrılması sonucunda meydana gelen mineral tozları, uçucu kül, portland çimentosu ve kireçlerden oluşur. Sülfür ve karbon gibi malzemelerde karışımların iyileştirilmesi için sıkça kullanılmıştır. Bunlar, tam manasıyla mineral filler olarak adlandırılmasalar da, fillerlerin oynadığı role bağlayıcılık özellikleriyle katkıda bulunurlar. Fillerlerin BSK'da geleneksel olarak kullanılmasının amacı sertliği veya güçlendirmeyi sağlamanın yanı sıra agreganın dağılımındaki boşlukların doldurulmasıdır. Fillerlerin katılmasıyla, genelde bir güçlenme ve takviye durumu söz konusu olmakla birlikte asfalt karışımının tümünde bir performans ve davranış gelişmesi görülür. Filler malzemesinin miktarı genellikle filler/bitüm oranı şeklinde ifade edilir ve karışım dizaynının bir parçasını meydana getirir.

Önemli noktalardan biri fillerlerin minerolojik tipleri ve dane dağılımlarıdır. Genel anlamda No 200 elekten geçen malzeme filler olarak adlandırılır. Doğal agregalarda No 200 elekten geçen kırmataş tozları ve iyi elenmiş agregalarda herhangi sınıflandırmaya gerek yoktur, bunlar doğrudan filler olarak kabul edilir. Kil gibi bazı ince daneli malzemeler ise kabarmaya ve soyulmaya sebep olduklarından karışım üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Fillerler sadece doğal agregalardan oluşmamakta, kireç, lignin, sülfür ve çok ince kesilmiş, ufalanmış fiber parçacıkları da filler olarak kullanılabilir.

Filler grubu bazı maddeler ve bunların modifiyer olarak etkileri:

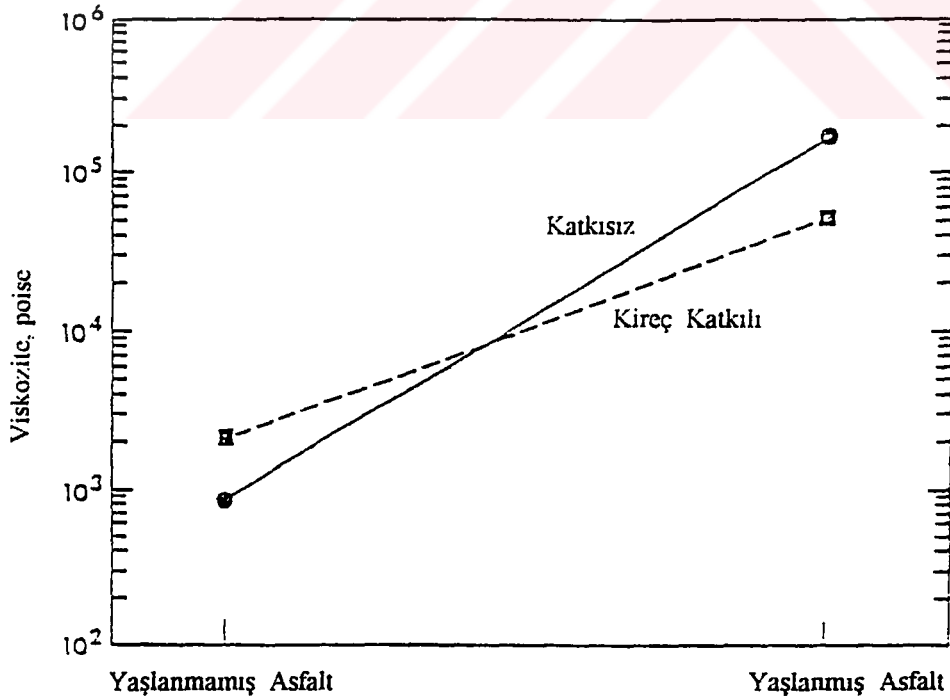
1-Kireç: kimyada kalsiyum oksit (CaO) veya kalsiyum hidroksit Ca(OH) olarak geçen maddenin piyasada yaygın olarak kullanılan adıdır. BSK'da kullanılan kireç, kalsiyum hidroksittir. Kalsiyumoksit ise asfalt karışımlarında hiç bir zaman kuru halde kullanılmaz. Ancak, küçük topraklar gibi tanecikler halinde eklenebilir. Uygulama, bağlayıcıya eklenmeden agreganın 1- Kuru hidrate kireçle, 2- Kuru hidrate kireç+su, 3- Hidrate kireç parçacıklarıyla iyileştirilmesini kapsar. Tüm bu yöntemler asfalt karışımlarının soyulma direncinde artış sağlar. Asfalt çimentosuna kuru hidrate kireç eklenmesi tavsiye edilmez.



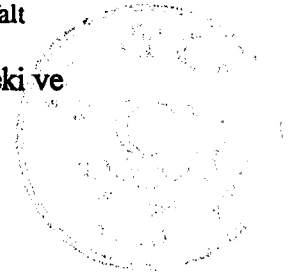
Şekil 4.7'de görüldüğü gibi kireç katkıli asfaltlar katkısız asfaltlara göre, yaşlanmadan önce yüksek, yaşlandıktan sonra düşük viskoziteye sahiptirler. Şekil 4.8'de de farklı kireç içeriklerinin asfaltların ilk sertlikleri ve zamanla sertleşme oranları üzerindeki etkileri görülmektedir.

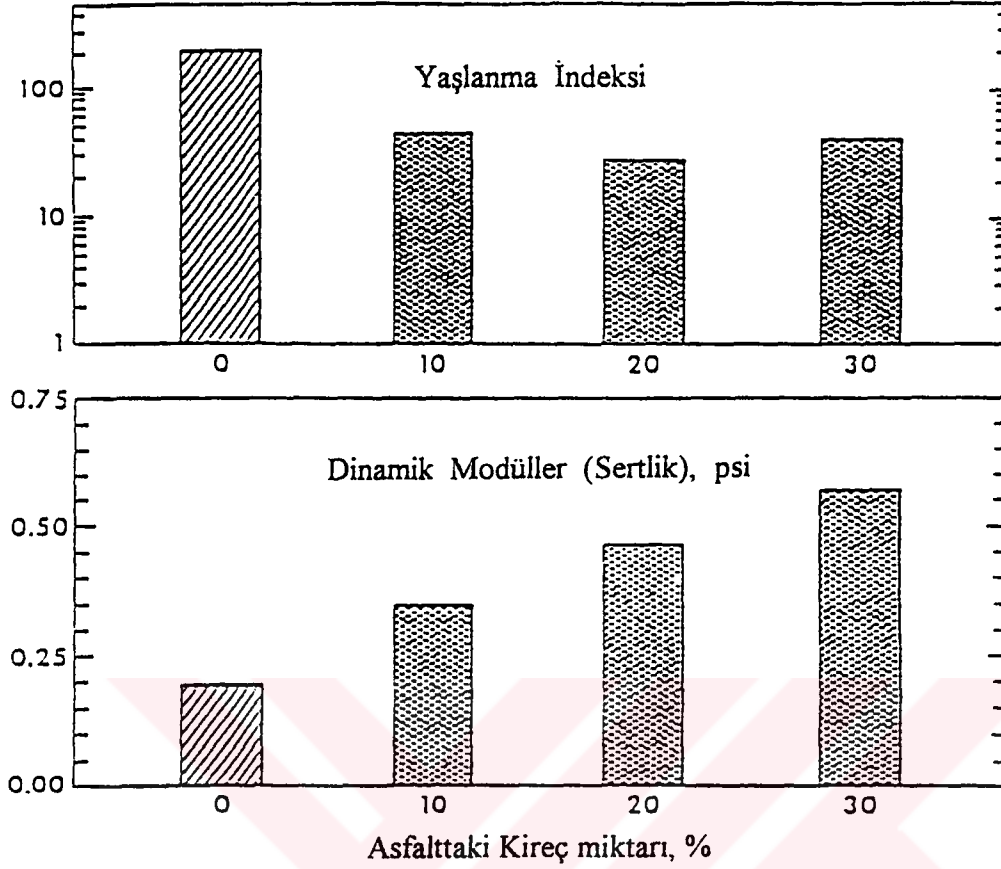
Etkileri:

- 1- Yüksek sıcaklık viskozitesinde artış.
- 2- Bağlayıcının zamanla sertleşmesinde azalma.
- 3- Bağlayıcı-agrega arasındaki adezyonda artma.
- 4- Yaşlanmamış bitümün yüksek sıcaklık sertliğinde artma.
- 5- Yaşlanmış bitümün sıcaklık sertliğinde azalma.
- 6- Yaşlanmış bitümün düşük sıcaklıklarında düktil akışında iyileşme.
- 7- Karışımın rutubete direncinde artma.
- 8- Karışımın sıcaklık hassasiyetinde gelişme.
- 9- Karışımın yüksek sıcaklık sertliğinde artma.
- 10- Stabilitede artma.
- 11- Karışımın yaşlanma sertleşmesinde azalma.



Şekil 4.7 Kireç katkıli asfaltların katkısız asfaltlara göre yaşlanmadan önceki ve sonraki viskoziteleri (Terrel ve Epps, 1989b)

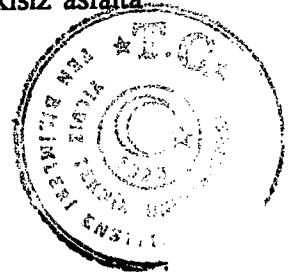




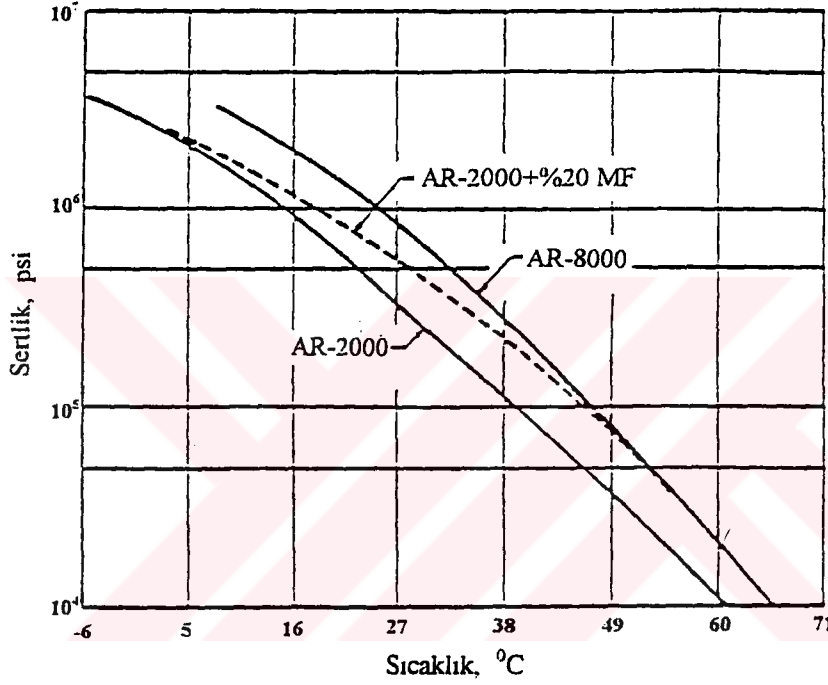
Şekil 4.8 Farklı kireç miktarlarının asfaltların ilk sertlikleri ve zamanla sertleşme oranları üzerindeki etkileri (Terrel ve Epps,1989b)

2- Microfil 8: Asfalt karışımlarında güçlendirici bir katkı olarak kullanılan karbon siyahı parçacıklarıdır. Bu ürün, karbon siyahı parçacıklarının yüksek yakıt emiş kapasitesiyle karakterize edilir, bu ise sıvı maddelerde viskoziteyi artırır ve dağılmayı kolaylaştırır. Bu çok daneli microfiller (1 gramda 10^{14} danecik) bitüm içine yayılarak, onun bir parçası haline gelir. Mikrofil maddesinin genellikle bağlayıcı ağırlığının % 10-15'i oranında katılması tavsiye edilir. Bağlayıcı ile Microfil 8 önceden karıştırılabildiği gibi asfalt plantinde ve rafineride de karıştırılabilir. Yüksek miktarda Microfil-8 katkılı karışımlarda normal serme ve sıkıştırma sıcaklıklarından 5 veya 10°C daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duyulur.

Şekil 4.9'da Microfil-8'in 0,01 saniyelik yüklemeler yapılan asfaltta sertlik-sıcaklık ilişkisi üzerindeki etkisi görülmektedir. Buna göre Microfil katkılı asfaltın sertliği, katkısız asfalta göre düşük sıcaklıkta da yumuşak iken, yüksek sıcaklıkta daha serttir.



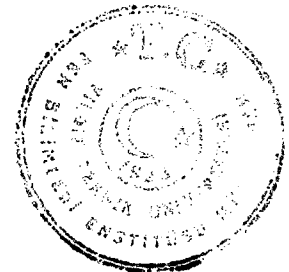
- Etkileri: 1- Yüksek servis sıcaklıklarında arttırılmış viskozite ve sertlik ,
 2- Isı hassasiyetinde azalma,
 3- Oksidasyon sertleşmesinde ve gevrekleşmede azalma,
 4- Karışımın kalıcı deformasyon direncinde artma,
 5- Karışımın aşınma ve kaplama direncinde artma,
 6- Öngörülen servis süresinde uzama.



Şekil 4.9 Microfil 8'in 0,01 saniyelik yüklemeler yapılan asfaltta sertlik-sıcaklık ilişkisi (Terrel ve Epps, 1989b)

4.4.2 Ekstenderler (Genleştiriciler) (Terrel ve Epps, 1989b)

Sülfür ve lignin gibi bazı maddeler asfalt çimentosunda genleştirici olarak kullanılır ve karışım içinde kısmi olarak asfalt çimentosu yerine bu malzemelerden herhangi biri koyulur. Sülfür doğal gaz desülfürizasyonundan, lignin ise kağıt üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkar. Lignin ve sülfürün asfalt çimentolarına gireceği yüzdelerde pratik bazı limitleri mevcuttur. Genel olarak üst sınır % 30 ile % 50 arasında olmaktadır.



Asfalt çimentosuna % 30 miktarında ilave edilecek lignin veya sülfürün ancak bir kısmı kimyasal olarak asfalt çimentosuyla birleşmekte, kalan kısım ise ayrılma eğiliminde olup filler malzeme şeklinde davranmaktadır.

Genleştirici grubu bazı maddeler ve bunların modifiyer olarak etkileri:

1- Odun lignini: Genel olarak Lignin Sülfonatu ve Kraft lignin olarak iki tür odun lignini üretilmektedir. Lignin sülfonatu, katı şekilde elde edilebilmektedir. Büyük hacimlerde veya torbalarda toz halinde satılabilmektedir. Kraft lignin ise kuru, serbestçe akabilen kahverengi toz halinde üretilir, torbalar ve büyük hacimlerde dağıtılır. Toz halindeki ligninler kuru yerlerde ve normal çevre sıcaklıklarında saklanabilmektedir. Katkılı karışımın BSK plentinde yapılması daha pratik olmaktadır. Modifiye karışımın serme ve sıkıştırma işlemleri klasik karışımunkiyle aynıdır.

2- Sülfür: Sülfür BSK'da bitümü sulandırıcı olarak küçük bir oranda, yada yüksek muhtevalı kullanılarak işlenebilirliği iyi olan bir karışım elde edilir. Karışımında silindir sıkıştırmasına ihtiyaç kalmaz, esnek ve rijit kaplamalarda çukur tamirlerinde kullanılır. 200 penetrasyonlu asfalttaki çeşitli sülfür içeriklerinin Marshall Stabilitesi üzerindeki etkileri Şekil 4.10'da görülmektedir. Bu grafiğe göre sülfür katkısı Marshall Stabilitesinde önemli artışlar sağlayabilmektedir.

Etkileri: 1- Stabiltitede artma,

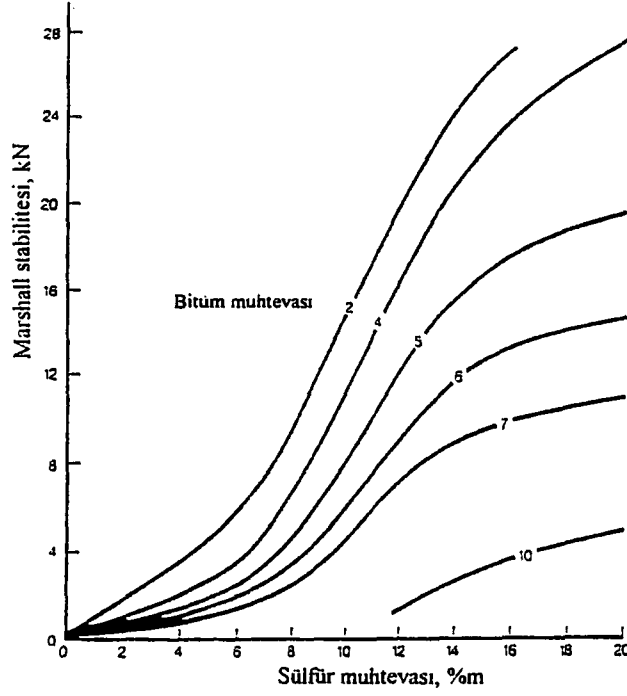
2- Kalıcı deformasyonlarda düşme,

3- Çatlamalarda azalma,

4- Dayanıklılıkta gelişme

5- Yaşlanmada ve yaşlanma sertleşmesinde gecikme.





Şekil 4.10 Sulfür içeriklerinin Marshall özellikleri üzerindeki etkisi (Whiteoak,1991)

4.4.3 Kauçuklar

Lastik grubu (elastomerler) hem doğal hem de yapay kauçukların değişik şekillerinden meydana gelir. Bu malzemeler oda sıcaklığında gerilip tekrar bırakıldığında eski şekil ve boyutlarına geri dönerler. Kauçuk malzemeler Çizelge 4.1'de de gösterildiği gibi doğal lateksler, yapay lateksler, blok kopolimerler ve iyileştirilmiş kauçuklar başlıkları altında toplanabilmektedirler. Yapay lateks malzemelerinin piyasada kullanılan bir kaç çeşidi bulunmaktadır.

Kauçuk grubu bazı maddeler ve bunların modifyer olarak etkileri:

1- Neopren (Sentetik Lateks) :

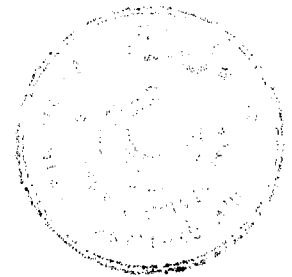
Etkileri: 1- Sıcaklık hassasiyetinde gelişme,

2- Yüksek sıcaklık viskozitesinde iyileşme,

3- Dayanıklılıkta (durabilitede) iyileşme,

4- Elastiklikte iyileşme,

5- Kırıntıları tutmada gelişme (Terrel ve Epps, 1989b).

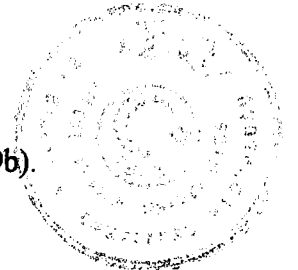


2- Rub-R-Road Latex (Sentetik Lateks) :

- Etkileri: 1- Esnek yorulmaya karşı dirençte gelişme,
 2- Oksidasyon yaşlanmasında gecikme,
 3- Akmaya, oluklanmaya, ötelenme ve bükülmeye karşı dirençte gelişme,
 4- Adezyonda iyileşme,
 5- Sertlikte artma,
 6- Düşük sıcaklık duktilitesinde iyileşme,
 7- Yumuşama noktasında yükselme,
 8- Düşük akmada yükselme (Terrel ve Epps, 1989b),

3- Rospalt 50 (Sentetik Lateks) : Polimerik bir katkı maddesi olup, modifiyer olarak kullanıldığı karışımları güçlendirerek klasik karışımlara göre daha iyi performans kazanmalarını sağlar. Bu malzeme torbalarda konsantre olarak piyasaya sürülmüştür. Daha çok köprü yüzeyleri, genişleme bağlantı çevreleri gibi özel yerlerde yüksek sıcaklık akmalarına karşı kullanılmaktadır. Asfalt çimentosu pugmill'de agregaya katılıp, agregayı sarmasını müteakip, önceden katkı yüzdesi belirlenmiş olan Rospalt-50 konsantresi karışıma ilave edilir. Karışım deviri katkı eklenmesinden sonra 60-90 saniye sürdürülür. Karışımın pugmill'den çıkış sıcaklığının en az 200 °C olması gerekmektedir. Modifiye karışım klasik serme ve sıkıştırma ekipmanları ve teknikleriyle uygulanabilmektedir. Sıkıştırma, serme işlemini takiben fiziksel koşulların elverdiği en kısa süre içinde yapılmalıdır. Zira kauçuk içeren bağlayıcılarda sıcaklık 175 °C'nin altına düşmeye başladığında sıkıştırma güçleşir. Rospalt-50 katkımasının kullanılmasının avantajlarından biride asfalt kaplama karışımlarının geçirimsizliğini sağlamasıdır. Rospalt 50 torbaları kuru ve serin bir ortamda saklanmalıdır.

- Etkileri : 1- Buz çözücü tuzların beton köprü tabliyelerine nüfuzunu önler,
 2- Düzensiz tabliye yüzeylerinde, ekonomik yüzey hazırlama imkanı,
 3- Ağır trafikli yollarda, daha ince tabaka yapma imkanı,
 4- Düşük sıcaklıklardaki çatlamalara karşı dirençte artma,
 5- Yüksek sıcaklıklardaki yumuşama ve akmada düşme,
 6- İç tabakalardaki yansıma çatlaklarını tutar,
 7- Trafik altında, daha kısa sürelerde uygulanabilir (Terrel ve Epps, 1989b).



4- Kraton (Blok Kopolimer, Termoplastik Elastomer): Kraton, termoplastik yapısından dolayı karıştırma işlemleri sırasında elastik özellikleri gösterir. Kraton D-1101 asfalt modifikasyonunda kullanılan tipik bir polimer olup bir SBS (Stren-butadien-stren) blok kopolimerdir. Katkı olarak tek başlarına kullanılabildikleri gibi, çeşitli petrol ürünü polimerlerin kombinasyonu olarak ta kullanılabilirler. Kraton ile modifiye edilmiş asfalt çimentolarında, sertlik ve viskozite değerlerindeki iyileşme, 60 °C'ye kadar kendini gösterebilmektedir. Geleneksel elastomerlerin kullanılması halinde ise 60 °C'de meydana gelecek viskozite artışı, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında da büyük miktarda viskozite artışını beraberinde getirir. Bitüme katılacak kratonun ağırlıkça % 5'i civarında olması istenir. Bu miktar % 3 iken de beklenen gelişmeler sağlanırsa da BSK'nın özelliklerine de bağlı olarak bazı durumlarda % 5'den daha yüksek orana gereksinim olabilir. Kraton ile modifiye edilmiş asfaltların fiziksel ve reolojik özellikleri göz önünde bulundurularak kullanım dozlarına karar verilmelidir. Kraton katı halde küçük danecikler veya kırıntı boyutlarında olup, torbalar halinde veya büyük hacimli kutularda temin edilebilmektedir. Bazı polimerler, özellikle petrol ürünleri içerenlerin, serin ve kuru yerlerde muhafaza edilmesi gerekir. Polimer, bitüm ile karıştırıldıktan sonra 2 saatten uzun sürelerde 200 °C sıcaklıkta bekletilmemelidir. Depolama sırasında karıştırma işleminin yapılması tavsiye edilir. Polimer eklenmeden asfalt çimentosunun 175-190 °C arasında olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Serme ve sıkıştırma işleminde, modifiye karışımda farklı bir uygulama gerekmemektedir.

Etkileri: 1- Yüksek ve geri dönebilir esneme,

2- Düşük sıcaklıklarda arttırılmış esneklik,

3- Penetrasyonda düşme, düşük sıcaklıklarda yüksek duktilite,

4- Geliştirilmiş çekme mukavemeti,

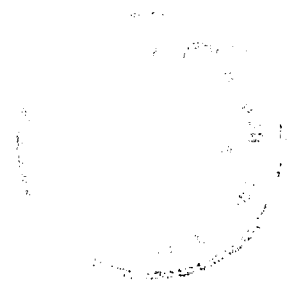
5- Isı hassasiyetinde düşme,

6- Yüksek sıcaklıklarda akma ve deformasyon direncinde artış,

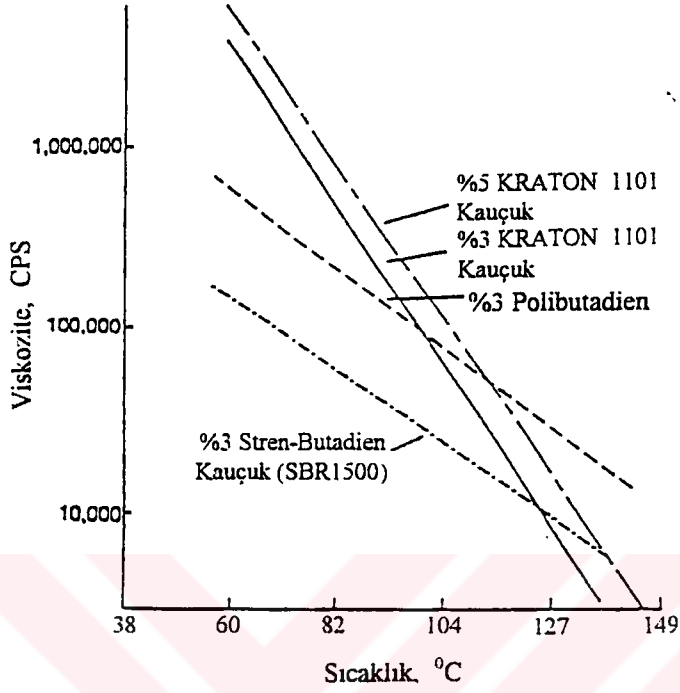
7- Yüksek sıcaklıklarda sertlikte artış,

8- Yorulma ömründe uzama,

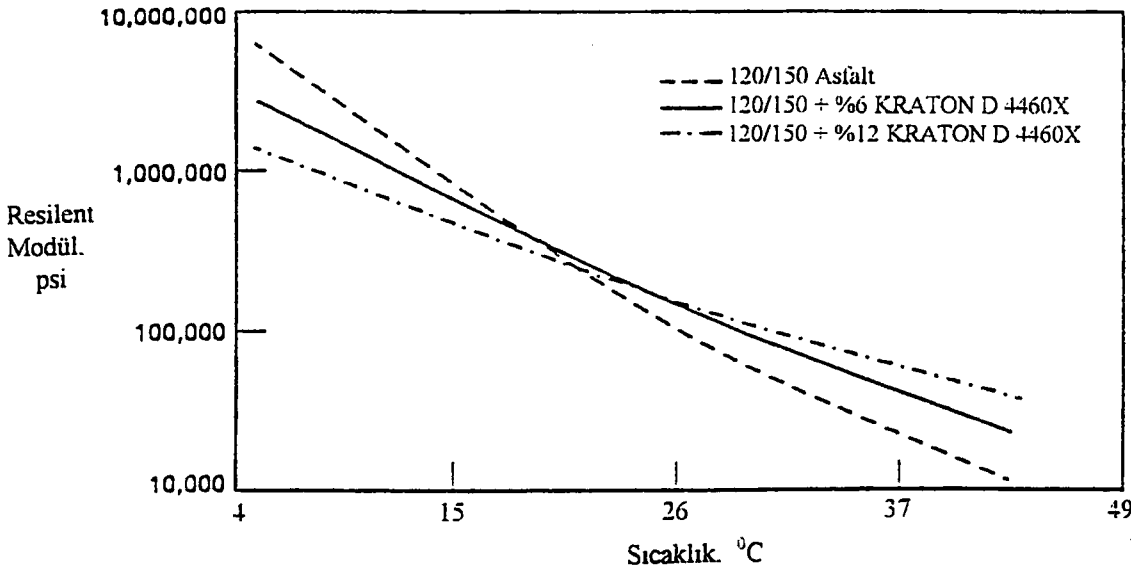
9- Yüzey aşınma direncinde artma (Terrel ve Epps, 1989b).



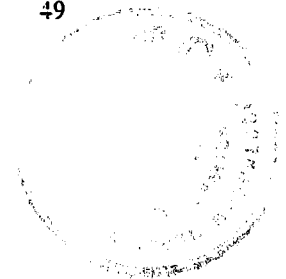
Bazı polimer tiplerinin viskozite-sıcaklık ilişkisi üzerindeki etkileri Şekil 4.11'de, esneklik modülü-sıcaklık ilişkisi üzerindeki etkileri de Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Bazı polimer tiplerinin viskozite üzerindeki etkileri (Terrel ve Epps, 1989b)



Şekil 4.12 Esneklik modülü-sıcaklık ilişkisi (Terrel ve Epps, 1989b)



5- Styrelf (Blok Kopolimer) :

- Etkileri: 1- Yüksek sıcaklıkta daha sert, düşük sıcaklıkta daha esnek,
 2- Deformasyonlara karşı geri dönüş elastikiyetinde gelişme,
 3- Gerilme dayanımında gelişme,
 4- Adezyonda gelişme,
 5- Kalıcı deformasyonlara karşı dirençte artma,
 6- Sökülmeye karşı daha yüksek elastiklik ve yapışma kuvveti,
 7- Düşük sıcaklıkta yüksek esneklik,
 8- Yüksek kayma direnci (Terrel ve Epps, 1989b).

6- İşlenmiş Kauçuk : Taşıt araçlarının tekerleklerinden elde edilen lastik atıkları 1960'ların ortalarından beri asfalt çimentosu katkısı olarak kullanılmaktadır. Malzeme işlenmemiş olarak kullanıldığı gibi bir dizi işlem sonucu da kullanılabilir ki buna dönüştürülmüş lastik adı verilir.

Bu malzeme başlıca volkanize edilmiş SBR veya karbon siyahı ile güçlendirilmiş polisprene'den oluşmaktadır. Dane boyutları No: 10 ile No: 50 elekler arasında kalacak şekildedir. asfalt çimentosuna ağırlıkça % 15-25 eklenmesi durumunda asfalt lastiği adını alır. Modifiye bağlayıcılar daha çok "gerilme emen membran" larda klasik bağlayıcı yerine kullanılır. Burada amaç, malzemenin elastomerik özelliğini kullanarak membranda oluşacak gerilmeleri emmek ve dağıtmaktır. Böylece yansıma çatlaklarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu tip katkılı bağlayıcıların bir diğer kullanım alanı eski kaplamalardır; BSK dökülmeden önce gerilmeleri emecek bir alt tabaka oluşturulur ve bu tabakanın bağlayıcısında atık lastik parçacıkları kullanılır.

Asfalt lastiğinin BSK'da bağlayıcı olarak kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Asfalt lastiği ile modifiyeli karışımlarda; Arttırılmış esneklik, yavaş yaşlanma, azaltılmış çözülme, genişletilmiş inşaat mevsimi, kalıcı dteformasyonlara karşı arttırılmış dayanım özellikleri sağlanabilmektedir.



Bu konudaki yaklaşımlardan bir diğeri; BSK' ya granül halinde lastik ilavesidir ki bu miktar da karışımın ağırlıkça % 3'ü civarındadır. Ortaya çıkan karışıma "PLUSRIDE ASFALT" adı verilir ve bu karışımda gelişmiş kayma direnci, yüzey buzlanmasında azalma, yorulma direncinde artma özellikleri görülür. Atık lastik parçacıkları 3 şekilde bulunabilmektedir:

- 1- Torbalar içinde kuru granüler,
- 2- Bidon veya tankerlerde yağ orijinli genleştiriciler ile önceden karıştırılmış olarak,
- 3- Dağıtım kamyonlarında veya özel tankerlerde asfalt çimentosu ile önceden karıştırılmış olarak.

Torbalarda depolama söz konusu olduğunda, ortamın kuru ve temiz olması gerekir. Önceden karıştırılmış harmanların büyük hacimler halinde depolanması ise yüksek sıcaklıklardan korunmak koşuluyla özel tanklar içinde mümkün olup, uzun süre bu tanklarda saklanabilirler. Her iki durumda da gerekli olan iyi bir havalandırma sistemidir.

Granüle lastik genellikle sıcak agregaya ilave edilir. Önceden harmanlanmış asfalt lastiği, asfalt çimentosu ile sistemde ısıtılır. BSK tesislerinde bazı ilave ekipmanların ihtiyaç duyulabilir. Kuru granüllerde; bu besleme bantları yada özel taşıyıcılar, sıcak asfalt çimentosu-lastik harmanlarında; tank karıştırıcılar ve özel pompalar olabilir.

Bu tip katkılı asfaltlarla ilgili şartnameler, Asfalt/Kauçuk oranı, Viskozite, Akma Noktası gibi özellikleri kapsamaktadır. İnşaat safhaları da klasik BSK'dan büyük farklılık göstermez, fakat aynı sıkıştırma derecesinde klasik BSK'dakinden daha fazla hava boşluklarına sebep olabilmektedir. Karıştırma, serme ve sıkıştırma sıcaklıkları da normalden biraz daha fazladır (Terrel ve Epps, 1989b).

7- Asphalt Rubber (İşlenmiş Kauçuk) : Sıcak asfalt çimentosunun % 20 (\pm 4) oranında atık lastik kırıntıları ilavesiyle modifikasyon yapılır.

Etkileri: 1- Yaşlanmaya karşı iyileşme. Yaşlanmanın azalmasındaki etken lastik parçacıklarının içerdiği karbon siyahı ve antioksidan sistemleridir,



- 2- Yaşlanma nedeniyle sertleşmenin azalması sonucu kaplama çatlaklarında azalma,
- 3- Elastiklikte artma,
- 4-Yumuşama noktasında yükselme. Bunun sonucundaki yüksek sıcaklık stabilitesi, akma dayanımı ve deformasyona karşı direnç,
- 5- Kırılma sıcaklığında düşme (Terrel ve Epps, 1989b).

8- Plusride Asphalt (İşlenmiş Kauçuk):

- Etkileri:
- 1- Yorulma ömründe yedi misli artma,
 - 2- Yüksek bitüm içerikli karışımlardaki sıcaklık terlemelerinde azalma,
 - 3- Bağlayıcı viskozitesinde artma; Yüksek sıcaklıkta stabilite artması,
 - 4- Kalıcı deformasyonlara karşı akma ve büzülme direnci,
 - 5- Düşük sıcaklıklarda esneklik performansı,
 - 6- Mevcut rutubete ve sonradan nüfuz eden suya karşı direnç,
 - 7- Yansıma çatlaklarına daha uzun süreli direnç,
 - 8- Trafik gürültüsünde azalma,
 - 9- Islak yada buzlu ortamlarda daha yüksek kayma direnci,
 - 10- Daha iyi yüzey drenajı (Terrel ve Epps, 1989b).

9-Repsol C-501 (SBS Kopolimeri) : Bu çalışmada kullanılan Repsol C-501, Nynas firmasının bir ürünü olup SBS kopolimeridir. Gerek modifiye bağlayıcı ve gerekse modifiye karışım özellikleri bu çalışmanın labaratuvar sonuçları ve değerlendirmeleri olarak ileriki bölümlerde verilecektir.

10- CariphalteDM (SBS Kopolimeri) : Shell firmasının bir ürünü olup, termoplastik kauçuk (TR) olarak anılırlar. Stren-butadien-stren (SBS) veya Stren-ısopren-stren'in polimerizasyonunu müteakip bir işlemle imal edilirler.Zayıf beton altyapısı veya eski beton yolların üzerine yoğun sıcak karışımlarda ve BSK'larda kullanılmaktadır.

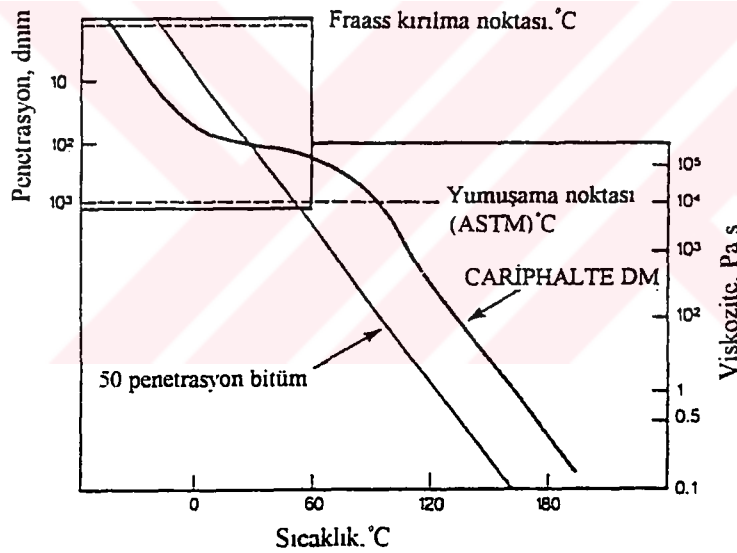
- Etkileri:
- 1- Yüksek sıcaklıklarda sertlik,
 - 2- Kalıcı deformasyonlara karşı direnç,
 - 3- Düşük sıcaklıklarda esneklik,
 - 4- Çatlama ve dağılmalara karşı direnç (Whiteoak, 1991).



11- Cariphalte DA (SBS Kopolimeri) : Shell firmasının geçirgen makadam ve sürtünme tabakalarında kullanılmak üzere ürettiği bir SBS kopolimeridir(Whiteok, 1991).

Cariphalte DM ve 50 penetrasyonlu bitümün viskozite-ısı özellikleri Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Burada, 60 °C gibi yüksek bir ısıda katkılı bitümün, katkısız bitümden çok daha katı olduğu, yani deformasyonlara karşı daha dirençli olduğu, düşük servis ısılarında (< 0 °C) ise daha esnek, yani çatlamalara karşı daha dirençli olduğu görülmektedir.

Shell ile Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (TRRL) tarafından yapılan tekerlek izi testleri ile, Cariphalte DM SBS polimer modifiyeli asfalt karışımın deformasyona karşı direncinin ne derece iyileştiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.7'de verilen bu neticelerden deformasyona karşı dirençteki önemli artışlar açıkça görülmektedir.



Şekil 4.13 Cariphalte DM ve 50 pen. bitümün viskozite ve ısı arasındaki ilişkisi (Whiteoak, 1991)

Çizelge 4.7 Cariphalte DM ve 50 pen.asfalt ile yapılmış sıcak karışım asfalt kaplamanın tekerlek-izi karşılaştırması (Whiteoak, 1991).

Bağlayıcı	Bağlayıcı Özellikleri		Tekerlek-izi Oranı
	Penetrasyon (25 °C'de) dmm	Yumuşama Noktası (IP) °C	(45 °C'de) mm/h
50 Pen.	56	52	3.2
Cariphalte DM	84	90	0.7

4.4.4. Plastikler (Terrel ve Epps, 1989b)

Basınç ve gerilme sonucu akma özelliği gösteren polimerik malzemelerdir. Plastikler genellikle termoset metaryellerdir (ısıtılıp basınç ve gerilmeye maruz kalınca akan, fakat bir kez soğutulunca bir daha yumuşamayan malzemeler).

Çizelge 4.1'deki sınıflandırmada da gösterildiği gibi plastik grubu polimerler sınıflandırlar. Plastikler genellikle yüksek moleküler ağırlığa sahip organik maddelerdir ve akma durumunda şekil değişikliğine uğrarlar. Asfalt çimentosu modifikasyonunda kullanılmakta olan bir kaç çeşit plastik mevcuttur. Genellikle kauçukların esneme veya elastomerik özellikleri plastiklerde de görülmekle beraber, sert plastik türleri de kullanılmaktadır. Plastiklerin sınıflandırılmasında ana bölümler şunlardır:

1- Homopolimerler:

- a- Polietilen
- b- Ataktik Polipropilen

2- Tesadüfi Kopolimerler

- a- Etil vinil asetat (EVA)

Plastik grubu bazı maddeler ve bunların modifiyer olarak etkileri:

1- Elvax (Reçine): EVA, kopolimer reçineleri ürünündendir. 150 °C sıcaklıktaki asfalt çimentosuna kuru ağırlık olarak % 2-4 oranında eklenir.

Elvax sınıflarının hepsi yarı saydam küçük tanecikler şeklindedir. Küçük torba yada büyük kutularda dağıtımı yapılmaktadır. Kapalı ve kuru ortamlarda depolanır. Depolama sıcaklığı malzemenin vinil asetat içeriğine bağlı olarak değişir.

Elvax, ilk olarak 150 °C sıcaklıktaki asfalt çimentosuna eklenir. Modifiye asfalt çimentosu bir pugmill veya drum mikserle aktararak modifiye sıcak karışım elde edilir.



Modifiye asfalt çimentosu emülsüfiye edilerek modifiye asfalt emülsyonu da sağlanabilmektedir.

Etkileri: 1- Sıcaklık hassasiyetinde azalma,

2- Yüksek sıcaklıklardaki viskozitede azalma,

3- Dayanımda artış,

4- Yüksek sıcaklıklarda, deformasyona karşı dirençte artma,

5- Düşük sıcaklıklarda, aşınmaya karşı dirençte artma.

2- Novophalt (Polietilen) : Novophalt, asfalt çimentosuna yaklaşık % 4-6 polietilen katılarak elde edilir.

Novophalt, katmanlaşmayı engellemek için karıştırılarak saklanmalıdır. Eğer bu işlem yapılmazsa polietilen, sıvı asfalt çimentosunun üzerine çıkarak üniform olmayan bir dağılım meydana getirir. Eğer dağıtım merkezi bir asfalt çimentosu terminalinden yapılacaksa, BSK tesislerinde karıştırma sistemi olan depolama tanklarına gereksinim olacaktır. Karıştırma, serme ve sıkıştırma tamamen klasik ekipmanlarla yapılabilen, ilave ekipman gerektirmemektedir. Bağlayıcının yüksek viskozitesinden dolayı modifiye karışımın serme sıcaklığı klasik karışımlardan daha yüksektir. (20 °C). Sıkıştırma başlangıcında tavsiye edilen sıcaklık 143-154 °C arasındadır.

Novophalt ve klasik asfalt bağlayıcı ile oluşturulan Asfalt Betonu karışımlarının mukayeseli özellikleri Çizelge 4.8'de görülmektedir. Buradan, Novophalt modifiye asfaltlı karışımın kalıcı deformasyon, yorulma, Marshall stabilitesi gibi özelliklerindeki üstünlükleri açıkça anlaşılmaktadır.



Çizelge 4.8 Novophalt karışımlarının, geleneksel asfalt betonu ile karşılaştırılması
(Terrel ve Epps, 1989b)

Test Adı	Parametre	Geleneksel Asfalt	Novophalt
Tekerlek izi testi	45 °C, mm/h	2.3	0.4 (Lab. num.) 1.3 (Saha num.)
Çekme çatlakları dayanımı	40 °C, Mpa 20 °C, MPa	43.1 124.5	112.7 ^(a) 240.1
Elastik sertlik modülü	40 °C, Mpa 20 °C, MPa	360 890	1050 ^(a) 2250
Sünme uyumu	40 °C, J _p (m ² /kN) 20 °C, J _p (m ² /kN)	1.7x10 ⁻⁶	0.13x10 ⁻⁶ 0.002x10 ⁻⁶
Kalıcı deformasyon	40 °C, cm. 20 °C, cm.	4.35 1.28	0.33 0.05
Yorulma testi	bozulma tekrerrü	25.000	80.000
Çözünürlük testi	20 °C, Dizel,330 h, % malzeme kaybı	% 17.69	% 1.07
Marshall ^a stabilitesi	kN (lbs)	11.3 (2.535)	18.8 (4.233)
Servis kayıtları	mm	16 - 26 arası	4 - 6 arası

(a)Sıkıştırma sıcaklığı

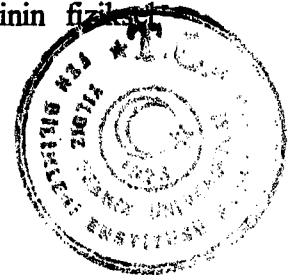
- Etkileri :
- 1-Daha iyi servis ömrü, onarım, maliyet değerleri,
 - 2- Klasik asfalt uygulamalarında uygunluk,
 - 3- Yüksek sıcaklıklardaki deformasyonlarda azalma,
 - 4- Geniş bir sıcaklık aralığında elastiklikte iyileşme,
 - 5- Yorulmaya karşı daha büyük mekanik direnç,
 - 6- Stabiltede yükselme,
 - 7- Sünme değerlerinde düşme,
 - 8- Petrol-yağ ürünlerinin dökülmelerinin zararlarında azalma,
 - 9- Bitüm agrega adezyonunda artma,
 - 10- Soyulmada azalma.

3- Polybilt : Bu malzemenin tüm sınıfları katı, yarı saydam tanecikler halindedir ve termoplastik yapılarından dolayı sıcak asfalt çimentosu ile bütünleşmeleri daha kolaydır. Bu polimerlerin tümü asfalt çimentosunun mukavemetini ve adezyon özelliğini geliştirmektedir. Bu malzemenin türlerinden Polybilt 100 sıcak asfalt çimentosu ile kolayca karıştırılır ve değişik orijinli bir çok asfalt türleri ile uyum gösterir. Asfalt çimentosu-polimer karışımı birbirinden ayrılmadan birkaç hafta saklanabilir. Polybilt 102, plastik deformasyonlara karşı, Polybilt 103 ise düşük sıcaklıklarda istenilen esnekliği sağlamak istenildiğinde tavsiye edilmektedir. Polybilt asfalt polimerleri etil-vinil-asetat (EVA) gibi polyolefinlerin karışımıdır. Genelde kullanılan modifiyer miktarı asfalt çimentosu ağırlığının % 3-5'i civarındadır. Kesin dozaja karar verilmeden önce her uygulama ve proje için ayrı ayrı labaratuvar çalışmalarının yapılması tavsiye edilmektedir.

Polybilt torbalarda veya tankların içinde büyük hacimlerde dağıtımı yapılabilmektedir. Uygulamaların çoğunda polimer ile asfalt çimentosunun hazırlanması işlemi rafineride veya üreticiye bağlı diğer bir tesiste gerçekleştirilir.

Polybiltin asfalt çimentosu içinde dağılması 160-170 °C arasında, 1-2 saatte, basit bir karıştırma ve sarsma sisteminin yardımıyla gerçekleştirilir. Seçilmiş ve miktarı belirlenmiş polybilt polimerleri, plastik torbalar içinde doğrudan doğruya pugmill'e ilave edilir. Sıcaklığın 140 °C veya üzerinde olması halinde polimer ile agrega aynı anda pugmill'e koyulur. Uygun bir sarsma ve karıştırma sistemi yardımıyla polybilt ile modifiye edilmiş asfalt çimentosu birkaç hafta rahatlıkla saklanabilir. Uzun süreli depolamalarda tavsiye edilen sıcaklık 135-165 °C arasındadır.

Drum veya batch tipi tesislerde normal çalışma sıcaklıklarında üretilen Polibilt'li karışım, kaplama tabakalarında kullanılır. Kalıcı deformasyonlara karşı dayanımın en üst düzeyde olması için standart bir asfalt sınıfı kullanılmalıdır, zira Polybilt sıkıştırma karakteristiklerini etkilemez. Düşük sıcaklıklardaki esneklik veya daha geniş bir sıkıştırma aralığı önemli ise Polybilt daha yumuşak dereceli bitüm ile kullanılır. Bazı Polybilt çeşitlerinin fiziksel özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Çizelge 4.9 Polybilt'in tipik fiziksel özellikleri (Terrel ve Epps, 1989 b)

Tipik Özellikler	Deney Yöntemi ASTM	POLİBİLT			
		100	102	103	104
Akma oranı (dg/min) 190 °C/2.16 kg.	D-1238 Metod B	2500	150	45	20
Melt viskozite, poise 90 °C 130 °C 170 °C 190 °C	Brook field	520 132 45 30	11960 3880 1050 630	45800 16500 4000 2300	113000 43700 9900 5550
Yoğunluk	D-792	0.922	0.938	0.957	0.943
Yumuşama Noktası R&B, °C	E-28	85	102	116	127
Melt Sıcaklığı T _m , °C	D-3417(DSC)	83	77	63	82
Kristalizasyon Sıcaklığı T _c , °C	D-3417(DSC)	68	57	41	60
Çekme Gerilmesi	D-638	480	750	985	1300
Uzama, %	D-638	85	680	900	750
% I Sekant Modülü, psi	D-638	4640	4060	830	4350
Sertlik	D-2240	85	86	67	85

Kaynakları farklı, 120/150 pen. dereceli iki asfalt çimentosunun polybilt katkısı ile modifiye edilmesi sonucunda fiziksel özelliklerindeki değişimler Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.



Çizelge 4.10 Polybilt modifiyerin asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri (Terrel ve Epps, 1989 b).

Özellikler	Asfalt Kaynağı			
	Chevron, Richmond		Shell, Wood River	
	Katkısız 120/150	Ağırlıkça %4 Polybilt 103 Katkılı	Katkısız 120/150	Ağırlıkça %4 Polybilt 103 Katkılı
Viskozite ^a 60 °C'de, P	661	1250	634	2080
Viskozite ^b 135 °C'de cSt	222	671	219	663
Penetrasyon 25 °C'de, 100g. 5s.	129	132	134	86
Penetrasyon 4 °C'de, 100g. 5s.	8	12	11	13
Penetrasyon ^c 4 °C'de, 200g., 60 sn.	28	39	36	37
Düktilite ^d 25 °C'de, 5 cm/min., cm.	>150	>150	145	81
Düktilite 4 °C'de, 5 cm/min., cm.	0	30	8	10
Isı hassasiyeti ^e , 60-135 °C arası	-3.55	-2.90	-3.54	-3.02
PVN ^f	-0.9	1.0	-0.8	0.6
P.I. ^g 4 °C ve 414 °C'deki penetrasyonları	-2.3	-1.4	-1.6	0.2
Penetrasyon oranı ^h	22	30	27	43

^a AASHTO T 202

^b AASHTO T 201

^c AASHTO T 49

^d ASSHTO T 53

$$^e \text{ IsıHassasiyeti} = \frac{\log \log V_2 - \log \log V_1}{\log T_2 - \log T_1}$$

Burada : V= cP deki viskozite

T= Mutlak Sıcaklık

^f 25 °C'deki penetrasyondan ve 135 °C'deki viskoziteden karar verilmiştir (McLeon, 1976)

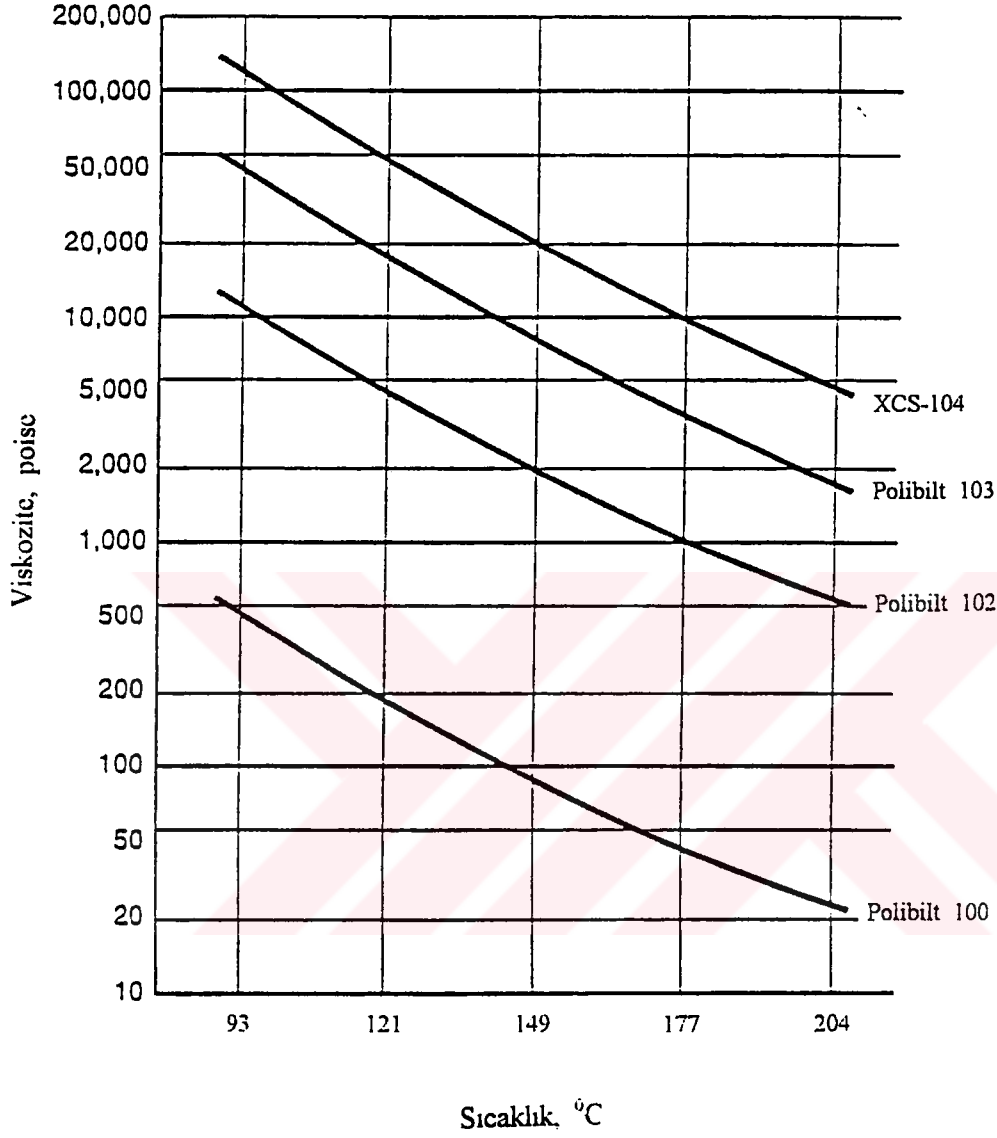
$$^g P.I. = \frac{20 - 500 * \alpha}{1 + 50 * \alpha}, \dots \alpha = \frac{\log(\text{pen } 2) - \log(\text{pen } 1)}{(T_2 - T_1)}$$

Burada : T=°C Sıcaklıktır

$$^h 100 * \frac{4^\circ\text{C}' \text{ depen } 200\text{gr. } 60\text{sn.}}{25^\circ\text{C}' \text{ depen } 100\text{gr } 5\text{sn.}}$$

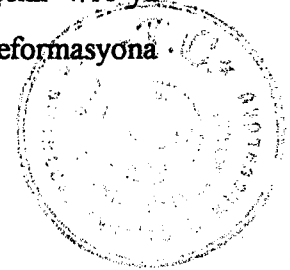


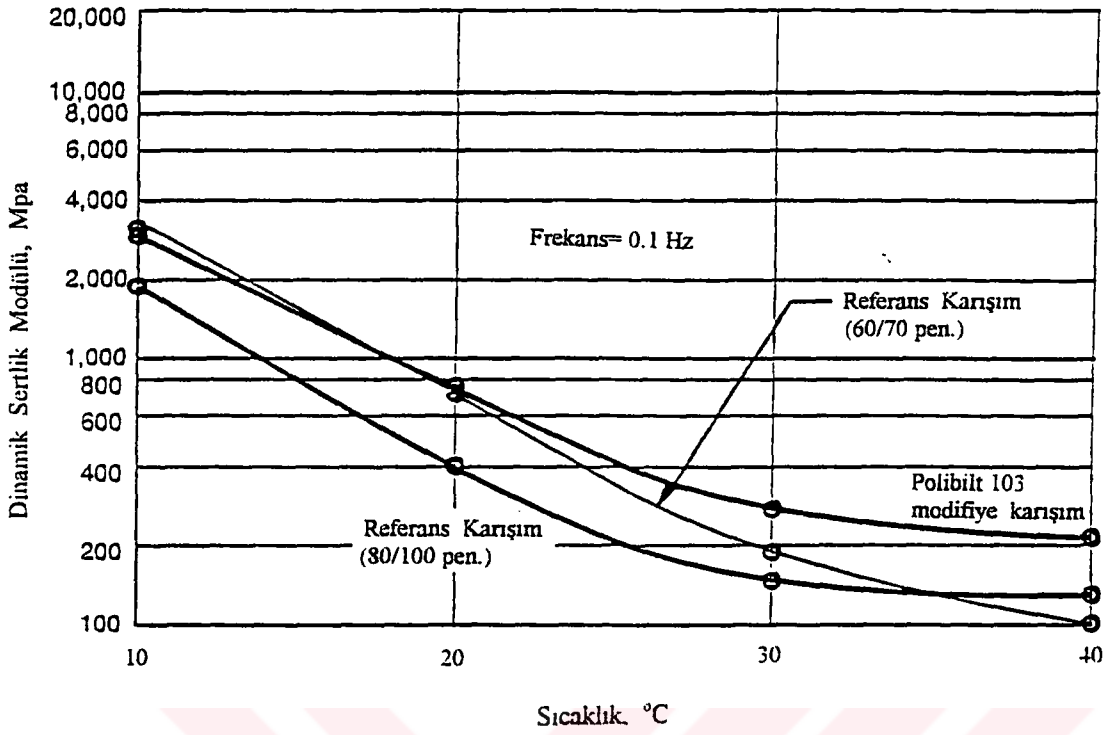
Ayrıca polybilt modifiyerlerin sıcaklık-viskozite ilişkisi Şekil 4.14'de görülmektedir.



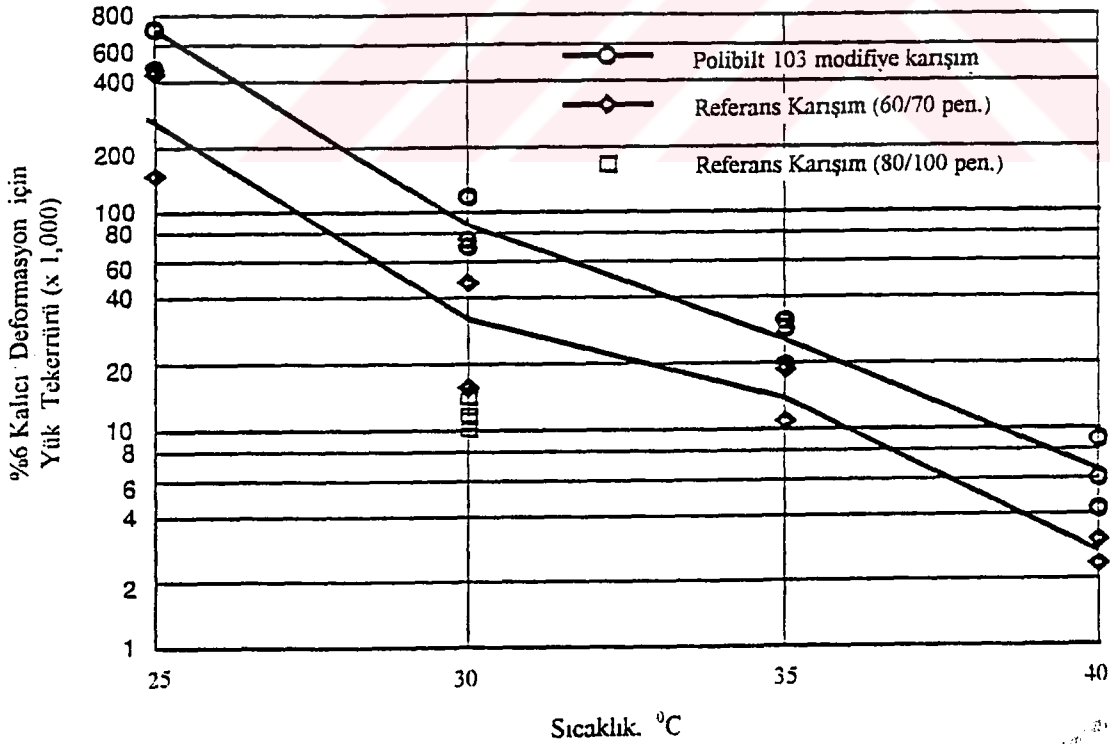
Şekil 4.14 Polybilt modifiyerlerin sıcaklık-viskozite ilişkisi (Terrel ve Epps,1989)

Yoğun gradasyonlu asfalt betonu karışımının dinamik sertlik modülü-sıcaklık ilişkisi şekil 4.15'de görülmektedir. Polybilt 103 ile modifiye edilmiş karışımın yüksek sıcaklıktaki sertliği, diğer iki referans karışıma göre daha yüksektir. Ayrıca, % 6 kalıcı deformasyona ulaşılması için gereken yükleme tekrürü ile sıcaklık ilişkisinin gösterildiği şekil 4.16'ya göre de; her değişik sıcaklıkta da polybilt 103 ile modifiye edilmiş karışımın deformasyona karşı daha dirençli olduğu anlaşılmaktadır.





Şekil 4.15 Tipik yoğun gradasyonlu asfalt betonu karışımının dinamik sertlik modülü (Terrel ve Epps, 1989 b)



Şekil 4.16 % 6 Kalıcı deformasyona ulaşılması için gereken yükleme tekerrürünü gösteren dinamik kayma testi (Terrel ve Epps, 1989 b)



- Etkileri :
- 1- Yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sertlik modülü,
 - 2- Düşük sıcaklıklarda kırılmalıklarda azalma,
 - 3- Adezyonda artma,
 - 4- Yaşlanmada azalma,
 - 5- Çekme gerilmesinde artma,
 - 6- Yorulma ömründe artma,
 - 7- Yüzey aşınmasına karşı dirençte artma.

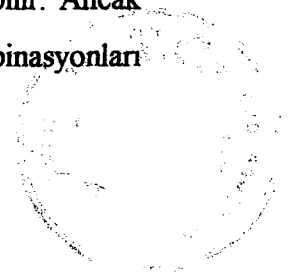
4.4.5 Kombinasyonlar (Terrel ve Epps, 1989b)

Polimerlerle bir çok kombinasyon mümkündür ve bu kombinasyonlar modifiye asfalt çimentosunda çok ince değişiklikler yaparak özel karakteristikler elde etmek için kullanılırlar. Çoğu katkı maddeleri tek başlarına modifiye bir bitümden istenen tüm özellikleri karşılamayabilirler. Bir araya gelecek polimerlerin uyumsuzluk göstermemesi ve hatta sık reaksiyonlar oluşmaması için özenli davranılarak doğru bileşenler seçilmelidir.

İki veya daha çok sayıda polimer tipi modifiyerin kombinasyonu sonucu, bir modifiyerin tek başına sağlayamayacağı nitelikler ve gelişmeler elde edilebilir. Örneğin belirli bir plastik polimer sıcak havalarda, kalıcı deformasyon yani tekerlek izlerine karşı dayanımı oldukça arttırırken,

düşük sıcaklıklarda önemli bir gelişme sağlamaz. Aynı plastikte modifiye edilmiş bitüme, bir kauçuk bileşiminin ilave edilmesi sonucunda sıcaklık değişiminin zıt tarafında da yeterli faydalar temin edilebilir. İki adet polimerin karıştırılması sonucu modifikasyona tabi tutulan bitümün kullanılmasıyla arzu edilen kaplama servis şartlarının sağlanması mümkün olmaktadır.

İlk bakışta katkı maddelerinin kombinasyonu cazip görülse de genellikle teknik açıdan pek fizibil değildir. Modifiyerlerin kimyasal yapılarının birbirleriyle uyuşması zordur. Bunlar birleşmeyecekleri gibi bazı malzemeleri birbirinden ayırarak yapıya hasar verebilir. Ancak özenle yapılacak analiz ve laboratuvar çalışmalarından sonra bu tip kombinasyonları gerçekleştirmek gerekmektedir..



Bağlayıcılarda elde edilmesi istenen özelliklere iki ve daha fazla katkı maddesi kullanılarak ulaşılabilecekse, olayın ekonomik boyutu da irdelenmelidir. Bazı modifiyerlerin gözle görülür bir iyileşme yapabilmeleri için minimum bir başlangıç miktarına gerek vardır, aynı durum bir başka modifiyer içinde geçerlidir, fakat bunların bir kombinasyonda beraber kullanılmaları durumlarında gerekli olan başlangıç miktarı çok yüksek fiyatlara mal olabilir.

Katkı maddelerinin bir arada kullanılmasında ortaya çıkabilecek ters reaksiyonlar karışımı bütünüyle bozabilir. Örneğin, soyulmaya karşı sıvı katkı maddelerinin veya kirecin kullanılması uygulanan bir yöntemdir, fakat aynı modifiye edilmiş bağlayıcının viskozitesini arttırmak için polimer modifikasyonu uygulanırsa sonucun verimli olma garantisi yoktur. Bunun için projedeki malzemelerin birbirleriyle uyumunu önceden çeşitli kombinasyonlar yaparak denemek şarttır.

4.4.6 Fiberler (Terrel ve Epps, 1989b)

Doğal, sentetik ve çelik fiber türleri BSK'da kullanılmaktadır. Genel yaklaşım; çok ince kısa fiberlerin bağlayıcı yada karışıma; şekil olarak, kimyasal olarak ve istenen amacına uygun olarak karıştırılmasıdır. Fiberler sağladıkları güçlendirmenin yanı sıra çok ince ve küçük parçacıklar olarak bölündüklerinden dolayı agrega üzerindeki bitüm filmlerinin kalınlığı normalden fazla olmaktadır.

Doğal fiberler ve asbestin BSK'da kullanımının karışım üzerindeki olumlu etkileri uzun süreden beri bilinmektedir. Fakat asbestin insan sağlığına zararları açığa çıktıkça yapay fiberler çok hızlı bir şekilde asbestin yerini almış ve kaplamanın kalitesini yükselteceği umulan projelerde asbest yerine suni fiberler kullanılmaya başlanmıştır. Aslında fiberlerin geleneksel kullanım alanları çatı kaplamaları ve su izolasyonu sağlayan asfalt mastikleridir. Bu alanlarda kullanılan fiberlerin BSK'ya katkıları kohezyon ve çekme mukavemeti özelliklerinde gösterdikleri iyileştirmelerdir.

Fiberlerin, bitümün kimyasal modifikasyonunda herhangi bir etkisi yoktur, fakat BSK kaplamalarında fiziksel değişiklikler ortaya çıkarırlar. Net olarak BSK üzerindeki etkisi,

sağlamlaştırmak ve güçlendirmektir. Diğer bir husus da fiberlerin daha fazla bağlayıcı kullanımına olanak sağlamasıdır; bu özellik köprü satırları, ince yüzey tabakaları ve açık gradasyonlu karışımlarda fayda sağlamaktadır. Fiberlerin, bağlayıcıyı kalınlaştırarak inşaat sırasında agregadan ayrılmasına engel olması, açık gradasyonlu karışımlar için önemli bir özelliktir ve ayrıca sıcak havalardaki kalıcı deformasyon ve ötelenmeleri azaltır.

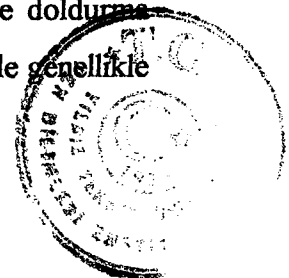
Fiberler, BSK'ya genellikle şantiyede katılır ve bu işlem için birtakım özel ekipman ve yöntemlere gereksinim duyulabilir. Fiberler çok küçük ve ince kesilmiş oldukları için küçük plastik torbalarda piyasaya sunulurlar. Harmanlamaya uygun boyutta yeterli sayıda küçük torbalar ile tamamlandığı takdirde batch işlemleri bu işe uygundur. Bazı fiberler pugmill'e atıldığında eriyecek torbalarda bulundurulurlar.

Drum tipi BSK plantlerinde ise fiberleri sürekli ve üniform olarak tambura aktaracak ilave bir sisteme ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte drum'ın içine hava püskürtmek için basınçlı bir sisteme daha gereksinim vardır. Fiber katkılı BSK'lar klasik karışımlardan daha birleştirici ve daha katı özellikler dışında fark göstermezler, bunlarda el ile yapılması gereken işlemler daha azdır.

Küçük parçacıklar halindeki fiberlerin, tane başına ağırlıkları oranlanınca yüzey oranları çok büyüktür. Bu özelliğinden dolayı daha çok filler gibi davranırlar. Bu durum BSK'larda daha fazla asfalt kullanımına sebep olur, dolayısıyla BSK'nın maliyeti artar. Doğru seçim yapabilmek için ekonomik koşullara da dikkat edilmelidir.

Fiber grubu bazı maddeler ve bunların modifyer olarak etkileri :

1-Bonifiberler: Bonifiberler % 100 polyester fiberler olup, sıcak ve soğuk bitümlü karışımlar gibi bitümlü malzemelerin güçlendirilmesinde kullanılırlar. Bonifiberler, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmuş bileşiklerdir. Suda ayrışabilecek maddeleri çok az yüzdelerde içerirler. Bonifiberler, katı halde üretilirler ve 250 °C'nin altında tutuldukları sürece bu formlarını muhafaza ederler. Bonifiber B; tüm kaplama tabakası ve doldurma malzemeleriyle kullanılırlar. Bonifiber C; No.8 elekten geçen tüm agrega türleriyle genellikle

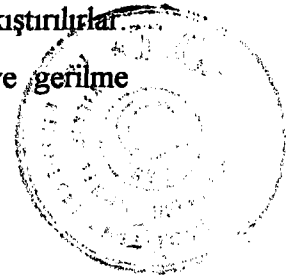


ince gradasyonlu BSK'larda kullanılır. Bonifiber D; 3/8 inç elekten geçenlerin % 75'inden fazla olmadığı durumlardaki temel karışımlarda kullanılır. Bonifiberler , otoyol uygulamalarında bir ton BSK başına, trafik yoğunluğu 10.000 taşıt/günden az ise 2.5 kg., trafik yoğunluğu 10.000 taşıt/gün'den fazla ise 3.5 kg. olarak uygulanır. Eğer taşıt trafiği yoğunluğu fazla ise bonifiber miktar oranı arttırılır. Eğer kaplama, birden fazla tabakadan oluşuyorsa bonifiberlerin tek tabakada kullanılması yeterli olmayacaktır. Bonifiber kullanımı kaplama kalınlığının bir miktar incelmesini sağlayabilir, fakat hiçbir koşulda kaplama kalınlığı 2.5 cm. nin altında olmamalıdır. Soğuk karışımlarda trafik yoğunluğu dikkate alınmaksızın bir ton karışım başına 1kg. bonifiber kullanılır. Gerek sıcak, gerekse soğuk karışımlarda fiberlerin yüzeyinin kaplanabilmesi için fazladan % 0.25 bitüme ihtiyaç vardır, amaç aynı zamanda hava boşluğu oranını % 3-6 oranında tutmaktır. Bonifiberler, karıştırıcıya bitümden önce, ölçme cihazı olan bir pompayla katılırlar. Agregaya tamamen kurutulmadan eklenmemelidir, zira drum içinde yanma olasılığı vardır. Bonifiberler eğer bitüm tankına konulursa zaman içinde dibe çöker ki bu istenmeyen bir durumdur.

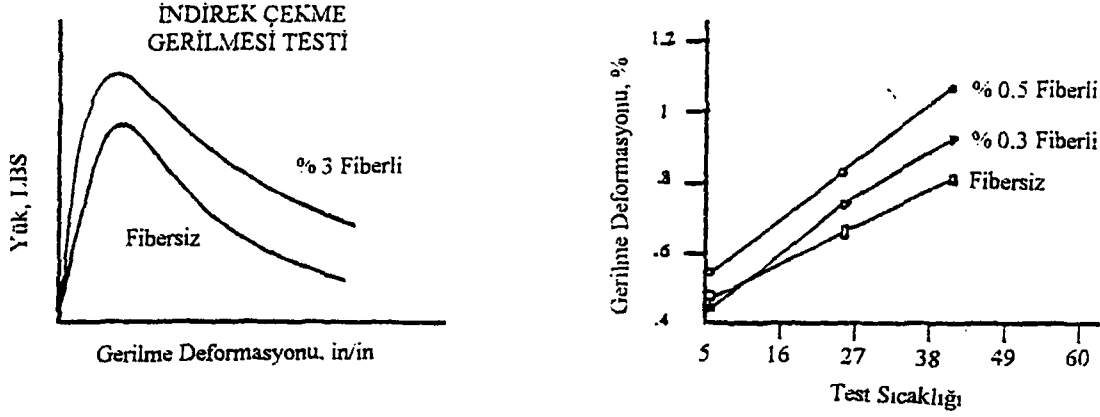
2-Petroflex: Petrofleks polyester fiber, küçük çaplı, kısa polyester lifleridir ve BSK'da üç boyutlu güçlendirme etkisi vardır. % 100 polyesterdir. Petrofleks polyester fiber uygulamalarında, bir ton karışıma 1.5-3.0 kg. olarak katılır. Fiber ile katkılı sıcak karışımlarda % 0.2-0.3 oranında fazladan bitümlü bağlayıcı gerektirir. Belirlenen granülometri limitlerini sağlamak üzere ilave filler ve mineral agregaya kullanımı da gerekebilir. Petrofleks katkılı BSK larda kohezyon, çökme mukavemeti ve esneklik değerlerinde çarpıcı gelişmeler gözlenir. Karışımın özellikle yüksek sıcaklıklarda tekerlek izleri oluşumuna ve ani akmaya karşı direnci artar.

Petrofleks katkılı karışımlarda servis ömrü yaklaşık % 25-45 oranında artma, tekerlek izi derinliklerinde % 45-53 oranında azalma olmaktadır. Bu iki özellik de karışımdaki fiber konsantrasyonuyla yakından ilgilidir.

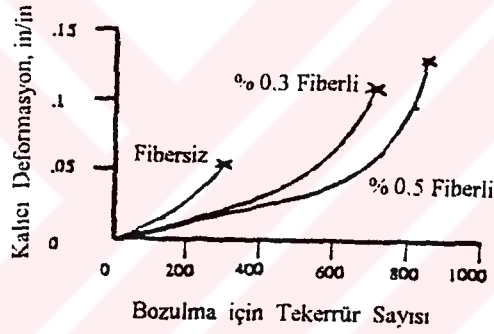
Kuru karışım çevriminin hemen başında sıcak mineral agregalarla karışıma sokulurlar. Petrofleks katkılı karışımlar geleneksel metod ve ekipman kullanılarak serilip sıkıştırılırlar. Çeşitli oranlarda petrofleks katkılı modifiye karışımların, gerilme gücündeki ve gerilme



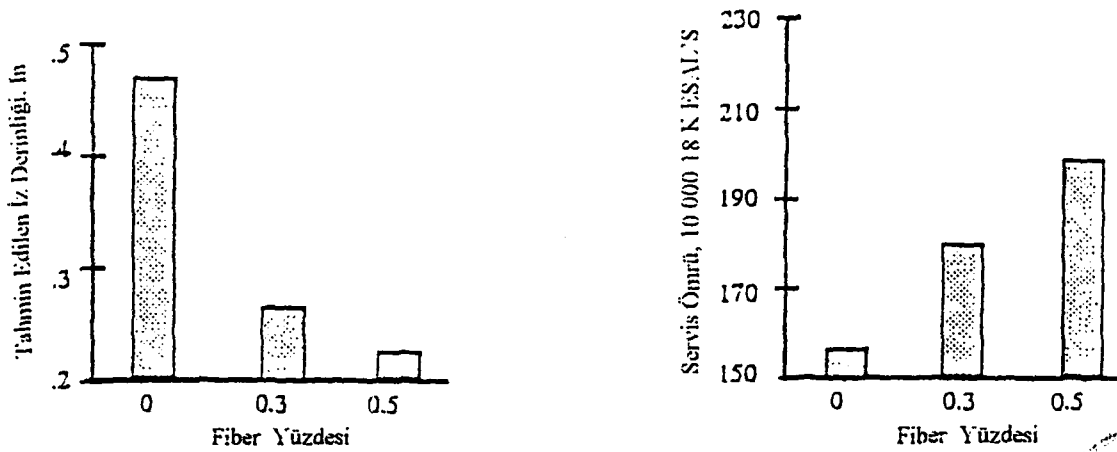
deformasyonuna dayanım kabiliyetindeki artış Şekil 4.17'de, üstyapı ömründeki gelişmenin bilgisayar programı ile yapılan tahmini Şekil 4.18'de ve tekerlek izi derinlikleri ile servis ömrünün önceden tahmini de Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Petroflex katkısıyla, gerilme gücündeki ve gerilme deformasyonuna dayanım kabiliyetindeki artış (Terrel ve Epps, 1989 b)



Şekil 4.18 Üstyapı ömründeki gelişmenin VESYS bilgisayar programı kullanılarak tahmin edilmesi (Terrel ve Epps, 1989 b)



Şekil 4.19 Çeşitli oranlarda Petroflex içerikli fiberlerin, tekerlek izi derinliği ve servis ömrünün önceden tahmini (Terrel ve Epps, 1989 b)



3-Fiber Pave: Fiber katkılı BSK'da görülen iyileşmeler;

- 1- Bağlayıcı kohezyonunda gelişme,
- 2- Sertlikte gelişme,
- 3- Elastiklikte gelişme,
- 4- Deformasyon ve sökülmeye karşı daha yüksek direnç,
- 5- Agrega segregasyonunda iyileşme,
- 6- Yansıma çatlağı nedenlerine karşı direnç,
- 7- Stabilitede yükselme.

4-Inorphil: Inorphil katkılı BSK'da görülen iyileşmeler;

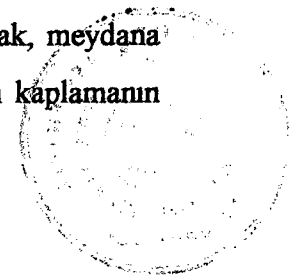
- 1- % 5 Inorphil ilavesiyle yüksek ve düşük sıcaklıklarda stabilitede yükselme
- 2- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda yüzey drenajında iyileşme
- 3- Büzülmeye karşı daha iyi performans
- 4- Yüksek kayma direnci

4.4.7 Oksidanlar (Terrel ve Epps, 1989b)

Bu gruba katalist adı da verilmektedir, çünkü oksidan katkılı bağlayıcılarda genel eğilim sertleşmeyi hızlandırmaktır. Bundan dolayı oluşacak etki oksidatif sertleşmeye benzemektedir, fakat kimyasal yapıları daha değişiktir. Bu maddelerle oluşturulacak yapı tekerlek izleri, yumuşama etkileri gibi olumsuzluklara karşı koyabilir.

Bazı durumlarda BSK'nın zayıflık, sıcak havalardaki yumuşama ve buna benzer problemlere karşı sertleştirilmesi veya dayanımının artırılması gerekebilir. Bazı bağlayıcılar diğerlerinden daha uzun sürede oturur ve sertleşirler; bu durumda erken gelecek bir zorlama ile tekerlek izleri ortaya çıkma olasılığı artar.

Bu durumlara karşı bir yaklaşım, başlangıçta daha sert bir bağlayıcı kullanılarak, meydana gelebilecek potansiyel erken hasarların ortadan kaldırılmasıdır. Fakat bu işlem kaplamanın



uzun dönemde performansını düşürecektir. Olay normalde yaşlanma veya oksidatif sertleşme olup, üretim aşamasından itibaren kaplamanın servis ömrü boyunca devam eder.

Bitümlerin, oksidatif sertleşme olmadan erken sertleşmesi için katkı maddelerinin kullanılması da ikinci bir yaklaşımdır. Bu amacı gerçekleştirebilecek en dikkat çeken materyal manganer bileşikleridir. İlk çalışmalar sonucunda aşırı sertleşmeden dolayı, beklenenden çok önce termal çatlaklar sözkonusu olmuş, fakat daha sonraki formülasyonlarla bu problem azaltılmıştır.

Oksidan grubu bazı maddeler ve bunların modifiyer olarak etkileri :

1-Chemkrete CTI-102 : Chemkrete CTI-102 yağa benzer bir sıvı olup manganer bileşiklerinden oluşmaktadır ve genellikle yoğun gradasyon BSK uygulamalarında kullanılmaktadır. Asfalt çimentosuna eklenip, ince bir tabaka halinde oksijen ile bir araya getirildiğinde 60 °C'deki viskozitesinde artış ve sıcaklık hassasiyetinde olumlu gelişmeler gözlenmiştir. Yine aynı malzeme ince bir tabaka halinde fakat oksijen ile karıştırılmazsa 25-60 ve 110 °C lerdeki viskozite değerlerinde düşme görülür. Asfalt çimentosunun özelliklerindeki gelişme miktarı AC'nin kaynağına, rafine edilme yöntemine ve doğal olarak Chemkrete CTI-102 konsantrasyonuna bağlıdır. BSK'larda kullanılacak Chemkrete miktarı ağırlıkça bağlayıcının % 1-4 arasındadır. Bazı durumlarda Chemkrete ile kullanılacak asfalt çimentolarının normalden daha yumuşak olması istenir.

Chemkrete CTI-102 asfalt çimentosu ince bir film tabakası halinde agrega ile bir araya geldiğinde, sıradan bir sıcak karışım işleminde modifiyer, asfalt çimentosu ile atmosferik oksijenin gireceği kimyasal reaksiyonda katolizer vazifesi görür. Reaksiyon karıştırma tesisinde başlayıp, kaplamanın yerleştirilmesini takiben bir kaç hafta sürer. Kaplamanın sertleşme süresi, kaplamanın etrafındaki sıcaklık ve içerdiği hava boşluğu miktarına bağlı olarak değişir, fakat kaplamanın trafiğe açılmasını fazla geciktirmez. Asfalt çimentosu ile agrega sıcak karışım tesislerinde karıştırılmadan önce Chemkrete ile likid asfalt çimentosunun karışımı tamamlanır. Katkının asfalt çimentosuna eklenmesi rafineri, depolama tankı veya sıcak karışım tesislerinde gerekli ekipman ve personel ile yapılabildiği gibi, sıcak



karışım tesisine tankerlerle getirilen asfalt çimentosu tankerden tesisin depolama tanklarına aktarılırken katkı maddesi ile birleştirilerek de yapılabilir. Modifiye bağlayıcının depolanma ve nakliyesi katkısız bağlayıcınıninki ile aynıdır.

- Etkileri :
- 1- Yüksek sıcaklıkta viskozitede artma,
 - 2- Sıcaklık hassasiyetinde artma,
 - 3- Stabillitede artma,
 - 4- Çekme dayanımında artma,
 - 5- Elastisite modülünde artma.

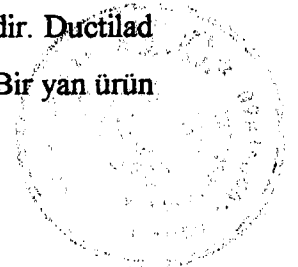
4.4.8 Antioksidanlar (Terrel ve Epps, 1989b)

Antioksidanlar bitümlü bağlayıcılarının oksidatif sertleştirme özelliğine engel teşkil ederler. Oksidasyon işlemi, bağlayıcıyı en sonunda kırılma noktasına yani gevrek bir yapıya kadar sertleştirmeye devam eder. Bu olayı önlemenin en pratik yolu da küçük oranlarda antioksidanların kullanılmasıdır. Ancak oksidan kullanımı yeterince ilgi görmemektedir. Antioksidanların yanı sıra kurşun bileşikleri üzerinde de bazı çalışmalar yapılmaktadır.

Antioksidan katkı maddeleri ile az sayıda uygulamalar yapıldığı için bunlar hakkında yeterli sonuç bulunmamaktadır. Günümüzde bu konudaki çalışmaların yoğunlaştığı nokta kaplamanın servis ömrü boyunca ortaya çıkacak dayanımdaki azalmanın, inşaat safhasında düşük viskozite ve sertliği gerektirmediğini ortaya koymaktır. Eğer bu şartlar sağlanmazsa sıkıştırma, gevreklik, segregasyon gibi sorunlar ortaya çıkacak, yani düşük penetrasyon dereceli bağlayıcı kullanımıyla meydana gelecek problemler yaşanacaktır.

Antioksidan grubuna örnek olarak Ductilad D 1000 modifiyeriyle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

1-Ductilad D 1000 : Ductilad D 1000, bitümlü bağlayıcı ve karışımların dayanım ve ömrünü arttırmak amacıyla üretilmiş yüksek performanslı sıvı bir katkı maddesidir. Ductilad D 1000 BSK'da kullanılan asfalt çimentolarının yaşlanma özelliklerini geliştirir. Bir yan ürün



olan Ductilad D 1002 ise özellikle mıcırlı örtü tabakası ve diğer koruma tabakası uygulamaları için üretilmiştir.

Bir esnek üstyapı kaplamasının dayanımını ve servis ömrünü belirleyen başlıca faktörler asfalt çimentosunun inşaat sırasındaki sertleşmesi ve servis ömrü boyunca bu miktardaki artıştır. Bu olay gerçekleşirken bağlayıcının duktilitesinin azalması da diğer önemli bir faktördür. Düktilad D 1000 asfalt çimentosundaki bu bozulmaları minimize etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bağlayıcının % 0.5-4.0'ü kadar Ductilad D 1000 kullanımı tatmin edici sonuçlar vermektedir.

Ductilad D1000 bitümlü sıcak karışımlarda kullanılmak üzere formülize edilmiştir ve bu katkının kullanıldığı BSK karışımlarında klasik karıştırma, serme ve sıkıştırma yöntemleri geçerli olmaktadır.

4.4.9 Hidrokarbonlar (Terrel ve Epps, 1989b)

Burada kullanıldığı anlamıyla hidrokarbonlar; bitümlü bağlayıcıyı yumuşatmak için bağlayıcıya veya karışıma eklenen maddeleri ifade eder. Asfalt çimentosunun, ağırlıkça daha hafif olan kısımlarının kullanım ömrü süresince bütünden ayrıldığı bilinmektedir. Bitümlü bağlayıcıları tekrar yeni iken sahip olduğu koşullara getirmek için ya bazı analizler gerekmektedir veya bağlayıcıyı en uygun geri dönebilir maddeyle eski bir BSK kaplamasına dahil etmek gerekmektedir. Yumuşak asfalt çimentosuna, çok daha sert doğal asfalt çimentosu eklenerek yavaş yavaş sertleşmesi sağlanabilmektedir.

Kendine özgü fiziksel özelliklere sahip bağlayıcılar gerektiren özel bir proje için bağlayıcının modifiye edilmesine ihtiyaç duyulur. Modifikasyon ile asfalt çimentosunun viskozite, penetrasyon ve diğer özelliklerinin değiştirilmesi işleminde yumuşak veya sert hidrokarbon maddeleri kullanılmaktadır.



Son yıllarda, kullanılmış BSK'ların yeniden işlenip kullanılabilir hale getirilmesi ve bunu sağlayan malzemelerin yaşlanmış asfalt çimentolarının yumuşatılması ve yeniden geliştirilmesi amacıyla kullanımı konusundaki çalışmalar artmaktadır.

Geridönenebilir maddeler :

Bu maddeler geridönenebilir modifiyeler, ıslah edici maddeler, yumuşatıcı maddeler ve geliştirici maddeler olarak da bilinmektedir. Hidrokarbon ürünleri, günümüz asfalt çimentosu şartnamelerine uygun olacak şekilde asfalt çimentolarının fiziksel özelliklerini iyileştiren maddelerdir. Bu ifade kimyasal karakteristikleri göz önünde bulundurmaz, bu nedenle modifiyer grubu; geridönenebilir maddeler veya modifiyerler için kullanılan çok sayıda materyali ihtiva eder. Bunlar; aromatik, naftenik ve parafin yağlarının yanı sıra bunlardan bir veya birkaçıyla yumuşatılmış asfalt çimentolarıdır. Daha sonra bunlar yumuşak asfalt çimentosu , katbek veya emülsyon olarak kullanılırlar.

Viskozitesi, yeni bir kaplamaya oranla daha düşük olan "yumuşak asfaltlar" en çok kullanılan geridönenebilir maddelerdir. Eski kaplamalara yeni agrega ve dolayısı ile bağlayıcı eklenmesi durumlarında yumuşak asfalt çimentoları kullanılmaktadır.

Geridönenebilir maddelerden bazıları yaşlı asfalt çimentosunun viskozitesini düşürerek sadece yumuşatıcı özellik gösterir. Diğerleri ise yeni asfalt çimentosunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini yaşlı asfalt çimentosunda da ortaya çıkarma amacıyla kullanılır, bundan dolayı da geliştirici maddeler olarak adlandırılırlar. Aşağıda belirtilen yağ çeşitleri geridönenebilir madde olarak kullanılırlar:

- Yumuşatıcılar: asphalt flux oils, lube stock, lubricating oil, slurry oil,
- Geliştiriciler: lube extracts, extender oils.

Bunların dışında geridönenebilir bağlayıcı olarak kullanılan fakat hidrokarbon olmayan maddeler vardır (Örneğin, sülfür). ASTM D 4552, BSK'da kullanılacak hidrokarbon veya petrol ürünü katkılarda aranılan fiziksel özellikleri vermektedir. (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 Sıcak karışım geridönenebilir maddeler için standart (Terrel ve Epps, 1989 b)

Deney Adı	Deney Yöntemi ASTM-D	RA 1		RA 5		RA 25		RA 75		RA 250		RA 500	
		Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Viskozite, 60 °C'de cSt	D2170 veya D 2171	50	150	200	800	1000	4000	5000	10000	15000	35000	40000	60000
Parlama Noktası, COC, °C	D 92	218	-	218	-	218	-	218	-	218	-	218	-
Doygunlar, wt, %	D 2007	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25
Kalıntı üzerindeki testler													
RTFO veya TFO ısıtma testlerinden sora 163 °C	D 2672 veya D 1754												
Viskozite oranı	"	3		3		3		3		3		3	
Wt değişimi	"	4		4		3		3		3		3	
Özgül ağırlık	D 70 veya D 1298												

Geridönüşmüş karışım % 65'den fazla ıslah edilmiş asfalt kaplama içeriyorsa RA1 veya RA5 gibi düşük viskoziteli maddeler, aksi takdirde RA25'den RA500'e kadar yüksek viskoziteli maddeler kullanılır. İnce film halinde ısıtma testi (TFOT) ve dönen ince film halinde ısıtma testi (RTFOT) sonuçlarında, dönüşebilir maddenin ağırlığındaki azalmalar, bu maddenin buharlaşabilme özelliğinin bir göstergesidir. BSK işlemleri sırasında veya daha sonra kaplamadan buharlaşarak ayrılacak malzemeleri dışarıda bırakma eğilimi vardır. 60 °C'de RTFOT testinde yaşlanma öncesi ve sonrası asfalt çimentosu viskozitesi malzemenin dayanımı için bir göstergedir.

Genel olarak, asfalt çimentoları ve geridönüşebilir maddeler asfalten ve maltenler'den oluştuğu söylenebilir. Yaşlanma sırasında meydana gelen kimyasal değişikliklerin oluşumu ve asidifinler, parafinler gibi bileşiklerin asfalt çimentosunu nasıl yenileştirip gençleştirdiği tartışma konusudur. Bir yaklaşıma göre parafinlerin yeniden yapılanmada etkili olduğu düşünülürken asfaltenler dikkate alınmaz veya sadece filler olarak değerlendirilir. Diğer bir

yaklaşımında ise asfaltların özellikle yaşlı kaplamalarda, yüksek aromatik özellikli yağların çözücüsü olarak etki gösterdiği.

İslah edilmiş asfalt kaplamanın optimal kullanımında dikkate alınması gereken kimyasal ve fiziksel özellikler, asfalt çimentosu, agrega, geridonüşmüş madde ve çevre arasındaki reaksiyonların en olumlu sonucu vereceği şekilde düzenlenmesidir.

Sertleştirici maddeler:

Yumuşak asfalt çimentoları, viskozite arttırmak, penetrasyon düşürmek veya kendine özgü bir takım ihtiyaçları karşılamak amacıyla modifiye edilir. Yüksek asfalt konsantrasyonlu maddelerin ilavesi sertleştirme işlemi için bir yoldur. Sertleştiricilere birkaç örnek;

- Doğal asfaltlar: Reçine (gilsonite), Trinidad göl asfaltı,
- Rafineri ürünleri: ROSE asfaltlar, endüstriyel asfalt çimentosu sınıfları.

Sertleştirici maddelerin asfalt çimentoları ile uyumu yumuşaticılardan daha kolaydır, zira daha yüksek asfalt yüzdesine sahiptirler, fakat yine tersine reaksiyonların oluşma ihtimalleri mevcuttur. Hidrokarbon sertleştirici maddelerin asıl kullanım sebebi asfalt çimentolarının fiziksel özelliklerini iyileştirmektir. Penetrasyon, viskozite ve sıcaklık hassasiyeti küçük miktarların eklenmesiyle ayarlanabilmektedir. Ancak % 30-40'a kadar varan oranlarda fizibil olarak kullanılmaktadır.

BSK geridonüştürülmesi için yağlar karışıma, asfalt çimentosuyla aynı şekilde ilave edilir ve tank, pompa, ölçüm sistemi gibi ekipmanlardan bir set de geridonüşmüş maddelerin eklenmesi için gereklidir. İlave edilen geridonüşmüş madde miktarı çok küçük olduğundan hassas ölçme cihazları gereklidir. Bazı 'Rolled Asphalt' (R.A.) ların parlama noktaları asfalt çimentosundan daha düşük olduğundan BSK işlemleri sırasında özel bir takım önlemlerin alınması gerekir.

Hidrokarbon sertleştiriciler genellikle torbalarda, normal çevre sıcaklığında serbestçe akabilen katılar halinde bulunurlar. Asfalt çimentosu ile birkaç değişik yöntemle birleştirilebilirler :

- 1-Asfalt çimentosu ile sertleştiricinin beraber ısıtılması, karıştırılması ve sarsılması için ana bir batch yapılabilir,
- 2-Pugmill veya drum karıştırıcıya BSK işlemleri sırasında doğrudan ilave edilebilir,
- 3-İşlenir ve asfalt çimentosuna simultane olarak eklenir.

Asfaltın miktarı yüksek bazı maddeler kullanım sırasında gevrek ve ufalanabilir özellik gösterir, bundan dolayı oluşacak tozu kontrol etmek gerekir. Materyaller aynı fiziksel özelliklere sahip olsalar bile iki RA veya sertleştirici madde aynı tank içinde karıştırılmamalıdır. Aksi takdirde kimyasal reaksiyonlar ortaya çıkar.

Hidrokarbon grubu bazı maddeler ve bunların modifiyer olarak etkileri :

1-Cyclogen: Sıcak geridönüşmüş madde:Cyclogen geridönüşmüş maddeler sıvı yağlardır ve eski asfalt çimentosunun kimyasal dengesini, seçme maltenlerle iyileştirip orijinal asfalt çimentosunun dayanıklılık ve stabilitesine ulaştırmak için kullanılır. Cyclogen, oda sıcaklığında viskoz bir sıvıdır, fakat viskozite modifiyer miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterebilir. İslah edilecek kaplamanın karışım dizaynına karar verebilmek için, mevcut ıslah edilecek kaplamanın 4 temel özelliğinin bilinmesi gerekir. Bunlar:

- 1-Asfalt miktarı (% ağırlık olarak),
- 2-Asfaltın kıvamı (25 °C'de penetrasyon, 60 °C'de viskozite),
- 3-Agrega granülometrisi (Elek analiziyle),
- 4-Agreganın gerektirdiği asfalt miktarı;

$$P = \frac{4 * R + 7 * S + 12 * F}{100} * 1.1$$

formülünden hesaplanır.

Burada :

P= Asfaltın karışım içerisinde ağırlıkça % si,

R= No.8 elek üzerinde kalanların tüm agregaya oranları (% ağırlık olarak),

S= No.8-No.200 elekler arasında kalanların tüm agregaya oranı (% ağırlık olarak),

F= No.200 elekten geçenlerin tüm agregaya oranı (% ağırlık olarak).

Son karışım dizaynındaki bağlayıcı miktarı (ilave asfalt çimentosu + geridönüşmüş madde) klasik karışım dizaynındakinden daha fazla olmalıdır. Karışım dizaynına karar verdikten sonra klasik testler yapılarak amaçlanan stabilite değerine ulaşım ulaşılmadığı kontrol edilir.

Maliyet artışının en azda kalması için, karıştırma, serme ve sıkıştırma işlemlerinde geleneksel yöntem ve ekipmana göre büyük farklılıklar göstermemelidir.

Önemli bir nokta, eski kaplamanın verilen ölçülere göre parçalanması gerekliliğidir: % 100'ü 1.5 inç (37.5 mm.) elekten geçmeli ve bunun ençok % 8'lik kısmı No.200 elekten geçmelidir. Bu koşulun yerine getirilmesiyle uygun bir granülometre elde edilirken, başarılı bir karışım ve maksimum sıkışma sağlanır.

Sıcak karışım tesisine bir depolama tankı, pompa ve hassas bir ölçme sistemine ihtiyaç olur. Geridönüşmüş maddenin asfalt çimentosundan ayrı olarak pompalanmasının gerektiği durumlarda ayrı bir enjeksiyon borusu gerekli olur. İşlemler sırasındaki sıcaklıklar, karıştırma, serme ve sıkıştırma geleneksel BSK'larla aynıdır. Cyclogeni küçük oranlarda karıştırma işleminde dikkatli kontrol gerekir. Minimum serme kalınlığı 2 inç (5 cm.) dir.

Etkileri: 1- Eski asfaltlarda yumuşama sağlar,

2- Orijinal bitümlü sıcak karışımlarda da benzer davranış olarak yumuşama sağlar.

2- Gilsonite: Gilsonit bir tabi hidrokarbon olup granüler olarak bitümlü sıcak karışımın stabilitesini ve yük taşıma kabiliyetini arttırmak üzere katılır. Gilsonit, sıvı asfalta sarıma tankında minimum 170 °C'de ,pugmill'e kuru safhada yada drum karıştırıcı normal



uygulama sırasında katılabilir. Asfalt çimentosunun % 5-10'u oranında katılır. Gilsonite katkısıyla bağlayıcı özelliklerindeki değişimler ve tekerlek izi oluşumuna karşı dirençteki gelişmeler çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12 Gilsonite katkısıyla tekerlek izi oluşumuna karşı dirençte gelişme
(Terrel ve Epps, 1989 b)

Karışım No.	Bağlayıcı Kompozisyonu ve Özellikleri					
	Kompozisyon		Özellikler			
	Bitüm	Gilsonite	Viskozite (Poise)		Penetrasyon (0.1 mm.) 25 °C	Dinamik Stabilite
60 °C			135 °C			
1	100		1437	224	70	510
2	96	4	2640	331	43	1370
3	92	8	4212	421	35	3150
4	100		2918	344	42	1170

Tekerlek İzi Testi

Test Koşulları

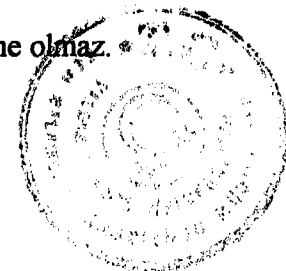
Sıcaklık : 60 °C
Zaman : 60 dak.
Tekerlek hızı : 21 /min.
Tekerlek yükü : 70 KB (~ 154 lbs)
Tekerlek basıncı: 6.6 kg/cm² (~ 91 PSI)

Dinamik Stabilite Hesabı

RD = (D2 - D1) 15 mm/min
DS = (1/RD) x 42 zaman/min.

Burada: RD = Deformasyon oranı,
DS = Dinamik stabilite,
D1 = 45 dak.sonraki deformasyon,
D2 = 60 dak.sonraki deformasyon.

Etkileri: 1- Bitüm, agrega tipi ve Gilsonite miktarına göre stabilitede yükselme,
2- Suya karşı daha yüksek direnç,
3- Yorulma ömründe artma,
4- Gilsonite kullanımında karışım dizaynı ve bitüm yüzdesinde değişme olmaz.



3- Trinidad doğal asfaltı: Trinidad göl asfaltı (TNA), yoğun, boşluklu ve açık gradasyonlu bitümlü sıcak karışımlarda bitüm modifiyeri olarak kullanılır.

Tipik uygulamalar olarak, % 25 TNA, % 75 AC (Bitüm yüzdesi ağırlıkça yaklaşık % 6 olan uygulamalarda) oranlarında yoğun üstyapı kaplaması olarak, % 40 TNA, % 60 AC (Bitüm yüzdesi ağırlıkça % 11 olan uygulamalarda) oranlarında sıcak karışım membranları olarak örneklenebilir. Serme ve sıkıştırma işlemlerinde klasik BSK kaplamalarındaki prosedür geçerlidir.

Etkileri: 1- Stabiltede artma,

2- Uç sıcaklıklarda performansta iyileşme,

3- Bakımda azalma ve servis ömründe artma,

4- Köprü tabliyelerinde su ve kimyasal direnç membranları maliyetinde azalma,

5- Yorulma ömründe artma,

6- Başlangıçta ve uzun dönemde kayma direncinde iyileşme.

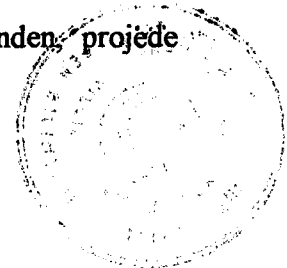
4.4.10 Soyulma önleyiciler (Antistripler) (Terrel ve Epps, 1989b)

Bazı agrega bitüm kombinasyonlarında istenen performans elde edilirken, soyulma problemiyle karşılaşılır. Bazı kimyasal maddeler, rutubetli ortamlarda bitüm ile agrega arasındaki adezyonu arttırmazlar.

Soyulmanın sebepleri çok karışık ve çeşitlidir. Bazı agregalar soyulmaya karşı diğerlerinden daha hassastır, bunun yanında bazı asfalt çimentosu kaynakları da bu problemi olumsuz yönde geliştirir. Bunlara çevrenin iklim ve hidrolojik koşullarıyla bazı materyallerin etkileri eklenince sorun iyice karmaşıklaşır.

Amin ve kireç gibi bazı kimyasal maddeler soyulma önleyici olarak bağlayıcıya, agrega yada karışıma katılmaktadırlar. Kireç bu karışımlarda aynı zamanda filler olarak da çalışır.

Bazı modifiyeler özellikle soyulmayı önlemek amacıyla üretilmiş olmamalarına rağmen sağladıkları diğer gelişmelerin yanı sıra soyulmayı azalttıkları da bilindiğinden, projede modifiyer seçilirken bu özelliklerini de gözönünde bulundurmak gerekir.



Piyasalarda bulunan bir çok soyulma önleyiciler, kullanıldıkları yer ve beraber kullanıldıkları malzemeler göz önünde bulundurularak çok iyi neticeler vermektedirler.

Çok yaygın bir şekilde kullanılmakta olduğu için soyulma önleyici katkı maddelerinin asfalt çimentosuna veya BSK tesislerinde doğrudan karışıma eklenebildikleri bilinmektedir. Sıvı soyulma önleyici katkı maddelerinin karışım içinde üniform şekilde dağılmasının sağlanması daha güç olup sıvı katkı maddelerinin karışıma katılacak miktarı da çok önemlidir.

Soyulma önleyici grubundan bazı katkı maddeleri ve bunların modifiyer olarak etkileri:

1- Acra : Acra 500, Acra 1000 ve Acra 2000 % 100 aktif, yağda çözünebilen katyonik yüzey malzemeleridir. Amaç bitümlü malzemelerle, alkalın veya asidik agregaların adezyonunu arttırmaktır.

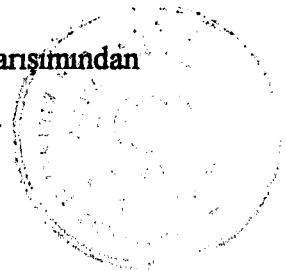
Ayrıca SC-901 türü Acra ise yukarıdakilerle aynı özelliklere sahip olup çok yüksek bir ısı stabilitesine sahiptir ve kaplanması zor olan agregalarda kullanılır. SC-901'in kullanım oranı, karışımdaki bağlayıcının ağırlığının % 0.1-0.5'i kadar olup, katkıların ilavesinin büyük hacimlerle, ısıtılmış bitüm depolama tanklarında yapılması gibi yüksek ısı stabilitesi gerektiren durumlar için uygundur.

Acra 500-1000-2000 maddeleri sıcak karışımdaki asfaltın ağırlıkça % 0.25-1.00 civarında eklenirler. Projedeki gerçek ihtiyaç duyulan miktar ise mevcut test metodlarıyla tespit edilir. Acra 1000 ve 2000 ise ısı stabilitesinin yüksek tutulmak istendiği durumlarda çok etkili olur.

Katkı maddesinin asfalt çimentosuna eklenmesinin, agrega eklenmesinden hemen önce yapıldığı, katkı enjeksiyon sistemleri için ideal malzeme Acra 500'dür.

Tanklar içinde depolanan antistriplerin, depolama ısı 15 °C'nin altına düşerse geçici bir ısıtma ihtiyacı doğar, Acra 2000 için bu sıcaklık 7 °C'dir. Depolama sıcaklıkları 90 °C'yi aşmamalıdır. Antistripler, az da olsa korozyona sebep olduklarından, buna göre depolama gerektirir.

Katkıların eklenmesi, doğrudan sarsıntılı bir depolama tankından, yada agrega karışımından hemen önce, bir enjeksiyon sistemiyle olmak üzere iki yöntemle yapılabilmektedir.



- Etkileri: 1- Asfalt ve agrega arasındaki adezyon artışıyla sağlamlıkta gelişme,
2- Bitüm sertleşme oranında düşme,
3- Gerilme gücü oranında iyileşme.

2- Perma-Tac, Kling Beta: Bitüme ağırlıkça % 0.25-1.0 oranında katılarak kullanılan bu katkı maddesinin Perma-Tac, Perma-Tac Plus, Perma-Tac 99 gibi çeşitleri vardır. Karışımda, su zararına karşı direnç artışı, agrega yüzeylerinin asfalt ile daha iyi kaplanması ve dayanımda iyileşme sağlanması şeklinde etkileri olur.

3- Aqua-shield (Sıvı Antistrip): Aqua-Shield bir amine sıvı antistrip katkısıdır. Genellikle bitümün ağırlıkça % 0.5'i oranındaki dozajda kullanılır.

4- Pave yada Pave Bond: Pave Bond yoğun, boşluklu ve açık gradasyonlu BSK uygulamaları için sıvı antistrip katkı maddesidir. Bazı çeşitleri ve bitüm ağırlığının yüzdesi olarak kullanıldıkları dozajlar agrega gruplarına göre şöyledir;

Pave Bond Ap : % 0.5-1.0 oranında asidik (silika) yada bazik (kireçtaşı) agregalarda,

Pave Bond Ap Special: % 0.25-0.50 oranında asidik yada bazik agregalarda,

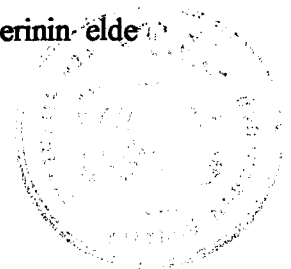
Pave Bond LP ve Pave Bond : % 0.5-1.0 oranında asidik agregalarla

Pave Bond Special: % 0.25-0.5 oranında asidik agregalarla,

Pave Bond 192: % 0.5-1.0 oranında asidik yada bazik agregalarla.

Dünyada farklı firmaların çok çeşitli katkı maddeleri bazı laboratuvar özellikleri de verilerek piyasalara sürülmektedir. Bu katkı maddeleri yukarıdaki bölümlerde verilen açıklamalarda ve örneklerde görüldüğü gibi her biri bitümlü bağlayıcının ve karışımın bazı özelliklerinde iyileşmeler sağlayabilmektedir. Bu nedenle öncelikle üstyapı kaplamasından beklenen özellikler ortaya konulduktan sonra kullanılacak katkı maddesinin bu amaçlar doğrultusunda seçilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, istenilen özellikleri sağlayacak agrega karışımı, bitüm tipi ve katkı maddesi belirlendikten sonra gerekli deneyler uygulanarak istenilen performans özelliklerinin elde edilip edilmediğinin de kontrol edilmesi gerekmektedir.



BÖLÜM 5

POLİMER MODİFİYELİ BITÜMLER

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, son yıllarda oldukça yoğunlaşan modifiye bitümler konusundaki araştırmalar ve çalışmalarda polimer modifiyeli bitümler ön plana çıkmıştır. Esnek üstyapı bağlayıcısı olan bitümün ve bunlarla oluşturulan kaplama karışımlarının iyileştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan katkı maddelerinin daha çok polimer sınıfından katkı maddeleri oldukları görülmektedir.

Yol uygulamaları için bağlayıcıya polimer katkı eklenmesi düşüncesi yeni bir uygulama olmayıp, 1823 yılında bir İngiliz mantar üreticisi doğal kauçuk içeren bir bağlayıcı için patent almıştır (Hancock, 1823), (Francken, 1997). İkinci Dünya Savaşından sonra yapay polimerlerin, doğal polimerlerle yol bağlayıcılarında katkı olarak kullanılması bakımından rekabeti söz konusu olmuştur. Son zamanlardaki yayınlardan anlaşılmaktadır ki (Zenke, 1985) sentetik polimerlerin kullanımı doğal polimerlerden daha fazla olmaktadır (Francken, 1997).

5.1 Yol Uygulamalarında Kullanılan Polimerler (Francken, 1997)

Polimer modifiye bitümler kısaca polimer bitüm olarak ifade edilmekte ve modifiye bağlayıcı “ termoplastik malzemeleri, ısıyla sertleşen sentetik reçineleri, toz kauçuk veya bitümdeki elastomerleri” içermektedir.

Bir polimer, sıralı zincirle şekillenmiş yüzlerce yada binlerce atomdan oluşan çok büyük bir moleküldür.

Ek reaksiyonlarda; polimer, reaksiyonun tek ürünüdür ve polimerizasyonun bu tipi, serbest uçlar ve ionik (anyonik ve katyonik) polimerizasyon reaksiyonlar içererek, hemen hemen bir zincir reaksiyon mekanizmasına doğru değişmez bir şekilde meydana gelir (Bilmeyer,1984 ; Hall,1985).



Polimerik ürünlerin çok çeşidi olmasına rağmen bitüm modifikasyonuna uygun olanı o kadar çok değildir. Bitüm modifiyeri olarak kullanılacak polimerin kendisinde ve bitümle karışmış halinde aranılan şu özellikleri polimerin seçiminde önemlidir:

- Bitümle uyuşur olmalı,
- Asfalt karıştırma sıcaklığında segregasyona dirençli olmalı,
- Bitümün ısı hassasiyetini geliştirmeli,
- Klasik karıştırma ve serme ekipmanları ile kullanılmaya uygun olmalı,
- Normal uygulama sıcaklıklarında sarma viskozitesini arttırmalı,
- Bitümle karıştırıldığında, depolama, uygulama ve servis sırasındaki özelliklerini sürdürmeli ve
- Uygun maliyette olmalıdır.

Bu özellikler önceki bölümlerde de verildiği gibi bitüm modifiyeri olarak kullanılacak tüm katkı maddelerinde de aranmaktadır.

Bitüm özelliklerini geliştirme amacını sağlaması için, seçilen polimerin ikincil bir ağ ortaya koyması yada moleküler etkileşmeyle bitüm içinde yeni bir sistem oluşturması veya bağlayıcı ile kimyasal tepki vermesi gereklidir. Amacına uygun bir modifiye bitüm oluşturmada, bitümün kimyasal yapısı önemli olup bitüm içindeki polimerin iyi dağılması esastır. Modifikasyon derecesi polimer özelliğine, polimer içeriğine ve bitümün orijinine bağlıdır.

Polimerler belli başlı dört kategoride sınıflandırılabilirler. Bunlar, plastikler, elastomerler, fiberler ve işlenmiş kauçuklardır. Plastikler, termoplastikler ve termosetler (yada termosetik reçineler) olmak üzere iki alt bölüme ayrılabilir ve elastomerler de Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi doğal ve yapay kauçuklar olarak ayrılabilirler. Çizelge 4.2'de verilen genel modifikasyon tiplerinden, polimer modifikasyon tipi burada Çizelge 5.1'de tekrar verilmiştir. Çizelgede, modifikasyonda kullanılan plastik, elastomer ve fiber grubu polimer örnekleri de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Polimer Katkı Maddeleri

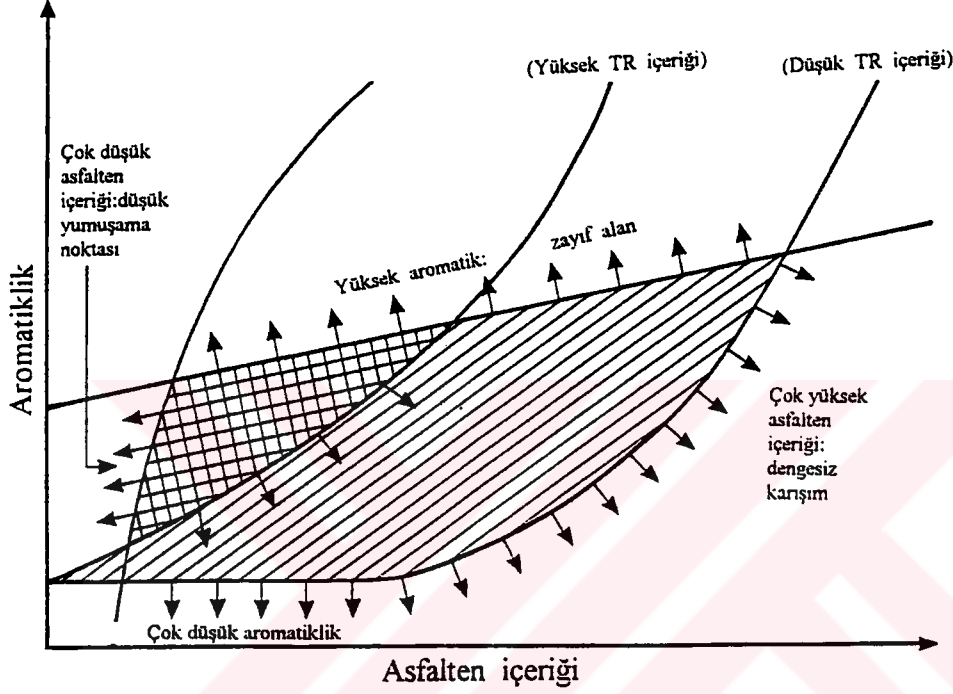
Polimer Çeşidi	Örnekler
1- Plastikler a-Termoplastikler	Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil klorid (PVC), Polistren (PS), Etilen vinil asetat (EVA)
b-Termosetler	Epoksi reçineler
2- Elastomerler a-Doğal Kauçuklar	Sentetik-butadien kopolimer (SBR)
b-Yapay elastomerler	Stren-butadien-stren kopolimer (SBS) Etilen-propilen-dien terpolimer (EPDM) Isabüten-İsopren kopolimer (IIR)
3- İşlenmiş kauçuklar	
4- Fiberler a-Doğal Fiberler	Selüloz Yün Asbestler (Silikat)
b-Yapay Fiberler - Organik Tip	Polipropilen Polyester Poliüretan Aromatik polimidler
- İnorganik tip	Karbon Cam Çelik

5.1.1 Polimer katkı maddelerinin özellikleri

5.1.1.1 Termoplastikler

Termoplastiklerin belirgin özelliği sıcakta yumuşaması ve soğukta sertleşmesidir. Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil Klorid (PVC), Polistren (PS) ve Etilen Vinil Asetat (EVA) gibi termoplastiklerin bazıları bitüm modifikasyonunda denenmektedirler. Bu malzemeler, bitümle karıştırıldığında, bitümün normal servis sıcaklığındaki viskozitesi ve sertliği artar.

Bunların çoğu bitüm elastisitesinde önemli artış yapmazlar ve sıcakta ayrılma eğilimi gösterirler, soğukta ise dağılma etkileri artar (Whiteoak, 1991). Ancak EVA gibi etilen ve vinil asetat kopolimerleri bitüm modifikasyonunda geniş oranda kullanılmaktadır. Bu tip polimerler bitüm içinde kolaylıkla dağılırlar ve genellikle normal karıştırma ve uygulama sıcaklıklarında bitümle iyi uyum gösterirler (Whiteoak,1991). Şekil 5.1 Bitüm yapısının bitüm/termoplastik kauçuk karışımları üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 5.1 Bitüm yapısının bitüm/termoplastik kauçuk karışımları üzerindeki etkisi (Whiteoak, 1991)

5.1.1.2 Termosetler

Termoset malzemeler (termosettik reçineler) ise şebeke polimerlerin monomerlerden yada çapraz halkalı lineer önpolimerlerden direk oluşarak meydana gelmiştir (Hall, 1985). Bu ürünler erimez, eritilmez ve akmazlar. Isıtma kimyasal reaksiyonun bir sonucu olarak ağlaşmaya ve geri dönülmez bir dönüşüme sebep olur. Önemli termosetler alkidler, amino ve asitfonik reçineler, epoksiler, doymamış polyesterler ve poliüretanlar içerirler. Termosetler kuvvetli bir üç boyutlu ağ yapısına sahiptirler ve ısıtma ile akıcı koşullara dönüşmeyebilirler. Bu polimerler yol uygulamalarında direkt kullanılabilirler, ancak bunların maliyetlerinin yüksek oluşu buna engel olabilecektir (Downes, 1986) (Francken, 1997).



5.1.1.3 Elastomerler

Tabii kauçuk (NR), poli-butadien (BR), polisopren (IR), isobutadien-isopren kopolimer (IIR), polikloropren (CR), stren-butadien kopolimer (SBR) ve stren butadien-stren blok kopolimer (SBS) gibi elastomerler (kauçuklar) uzun süreden beri bitüm modifikasyonunda denenmektedir. Polimerler elastomeriktirler, bunların elastikliği, yük altında kaldıktan sonra yada yüksek bir sıcaklığa maruz kaldıktan sonra, tamamen yada kısmi iyileşme sağlayarak, bunların başlangıçtaki boyutlarına dönmesine olanak sağlar. Bu tip polimerlerin açık etkisi elastomer ile kuvvet kazanmaktan ziyade bitümün viskozitesinde sağladığı artışlardır (Dinnen, 1985) (Francken, 1997). Bunlara bir örnek te, bunların volkanize edilmiş (çapraz-zincirli) durumları olan lastik kırıntılarının yeniden kullanılmasıdır. Ancak bu tip malzemelerin, sıkı molekül yapıları nedeniyle bitüm içerisinde dağılması zordur (Whiteoak, 1991). Elastomer malzemeler arasında, bitüm modifikasyonunda stren-butadien-stren (SBS) blok kopolimerleri en dikkat çekenidirler. Bu polimerler elastik ve termoplastik özelliklerin ikisini de birleştirdiklerinden, yaygın olarak termoplastik kauçuklar (TR) olarak adlandırılırlar. SBS kopolimerler stren-butadien-stren triblok zincirlerden meydana gelmişler ve iki evreli bir morfolojiye sahip olup, bir polibutadien matriksi içerisindeki polistren blokları ile küresel etkiler sonucu şekillendiği anlaşılmaktadır. Bu sert blok etkiler, elastomerik ağ şeklindeki fiziksel çapraz-zincir davranışı gösterir (Valkering et al, 1992). Ayrıca, bunlar yüksek gerilme kuvveti ve modülündeki ince-portikül kuvvetlendirme filleri olarak iyi dağılma davranışı gösterirler (Francken, 1997).

Bu çapraz-zincir yapısının etkisi, polistrenin geçiş sıcaklığını (yaklaşık 100 °C) hızla azaltmak olmuştur. Soğukta polistren etki alanı yeniden şekillenir ve sertliği ile elastikliği yeniden yapılanır (Hall, 1985). SBS kopolimerlerinin yüksek sıcaklıklarda doğal termoplastik davranışı ve düşük sıcaklıklarda sürekli bir ağ sağlama yeteneği, bunların bitüm modifiyerleri olarak dikkat çekmelerinin esas sebebidir.

Bir SBS kopolimeri sıcak bitüme katıldığında o bitümde maltenleri absorbe eder ve bitümün başlangıç hacmine göre dokuz misli şişme gösterir (Valkering vd., 1992). Uygun bir SBS içeriğinde (genellikle %5-6 oranında) bitüme doğru bir sürekli-polimer-ağ şekillenmesi



olabilecektir. Bitümün viskoelastiklik ve sıcaklık hassasiyeti gibi önemli özellikleri bu modifikasyonla değişmiş olacaktır (Valkering vd.,1992).

Değişik oranlarda SBS ve EVA içerikli modifiye bitümlerin 13 °C deki elastik geri dönüş sonuçları mukayeseli olarak Çizelge 5.2 de görülmektedir.

Çizelge 5.2 SBS ve EVA ile modifiyeli bitümlerin 13° C deki Elastik Geridönüş sonuçları(Valkering vd.,1992)

Döktülide uzatması	SBS İçeriği			EVA içeriği		
	% 0	% 3	% 7	% 0	% 3	% 7
20 cm	% 5	% 74	% 96	% 17	% 48	% 52
50 cm	% 4	% 82	% 97	% 8	% 43	*

*Numune 26 cm.uzamadan sonra kopmuştur. (% 48 geri dönüş).
Katkısız bitüm orjinleri SBS ve EVA için farklı farklıdır.

5.1.1.4 Fiberler

Bir fiberin en dikkat çeken özelliği onun lif şeklinde olmasıdır. Fiberler doğal ve yapay olmak üzere iki alt kategoriye ayrılabilir. Bazı başlıca fiberler Tablo 5.1.de görülmektedir. Bir fiberin ana malzemesi polipropilen ve poliuretandır (Hall, 1985). Fiberler, geleneksel olarak, çatı kaplamalarında ve endüstriyel su tutucu mastikler için kuvvetlendirici ve sertleştirici katkıları olarak kullanılmaktadırlar, ancak son zamanlarda yol bağlayıcılarının modifikasyonunda da denenmektedirler (Francken, 1997).

5.2 Polimer Modifiye Asfaltların Saha Performansları ve Fonksiyonel Özellikleri

Bağlayıcı özellikleriyle üstyapı performansı arasında bağlantı kurmak için, bitüm özellikleriyle karışım özellikleri arasındaki temel ilişkiyi bilmek gerekmektedir. Bir esnek üstyapıda trafik ve iklim etkileriyle meydana gelen bozulmaları en aza indirmek için bitümlü tabaka;

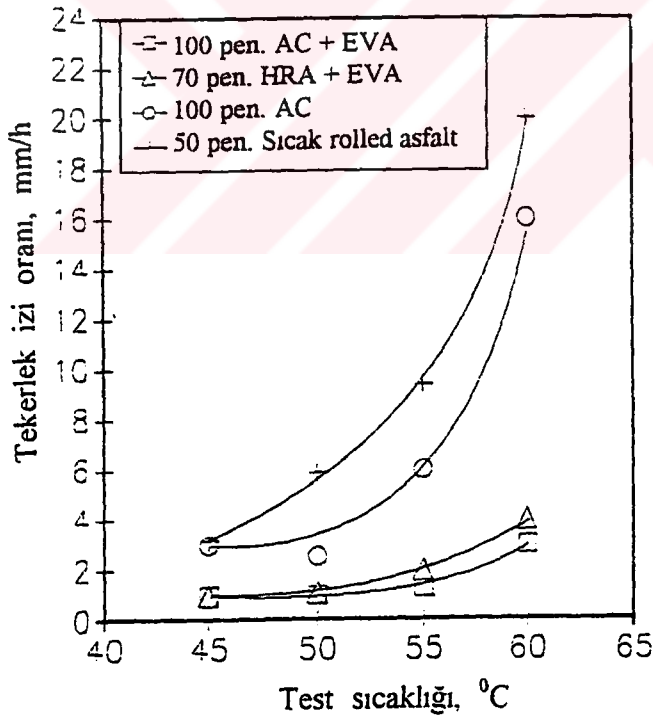
- Kalıcı deformasyonlardan (tekerlek izi) sakınmak için, yüksek yol sıcaklıklarında yeteri kadar sert olmalı,
- İyi yorulma direnci göstermeli,



- İyi soyulma direncine sahip olmalı (düşük su hassasiyeti),
- Zamandan bağımsız özellikler göstermeli (iyi yaşlanma özellikleri),
- Düşük sıcaklıklarda iyi fleksibiliteye sahip olmalı (düşük sıcaklık çatlaklarına direnç),
- Dişli tekerlek lastiklerine karşı etkili olmalıdır (iyi kaplama direnci).

5.2.1 Kalıcı deformasyon

Özellikle SBS ve EVA olmak üzere bitüme polimerlerin katılması, asfalt karışımların deformasyonlara direncini geliştirmektedir. Oluklanma özellikleri Tekerlek İzi Testi kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Şekil 5.2 göstermektedir ki, kaplama tabakası karışımı olarak Asfalt Çimentosu (AC) ve Bitümlü Sıcak Karışım (BSK)'nin deformasyona karşı direnci, ağırlıkça % 5 oranında EVA kopolimerinin katılmasıyla belirgin şekilde gelişmiştir (Choyce, 1989).



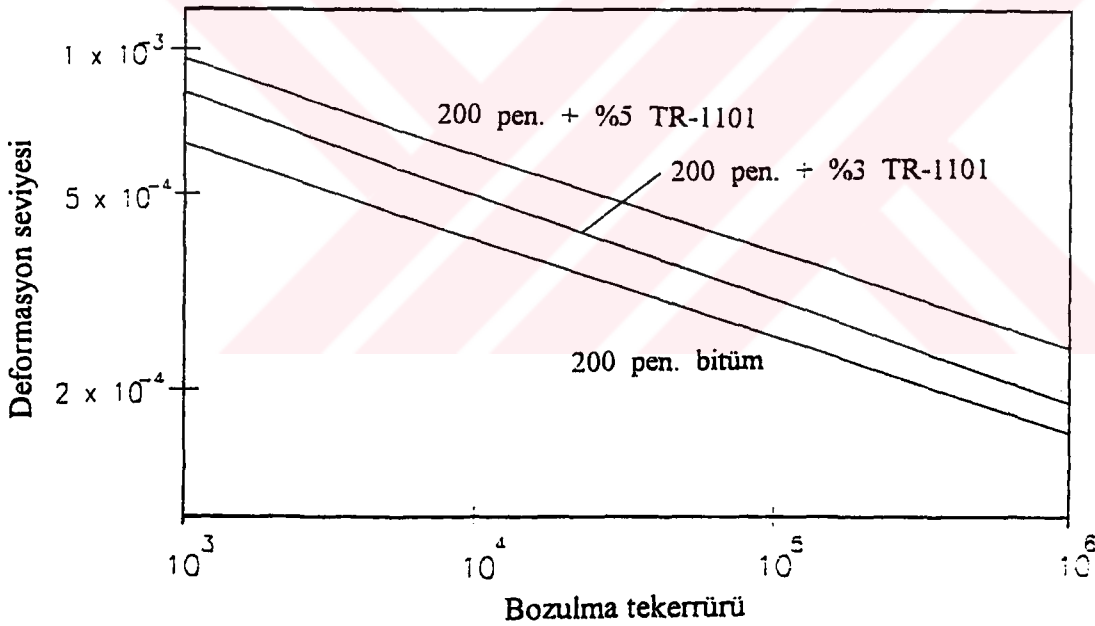
Şekil 5.2 HRA ve AC karışımları için tekerlek izi oranına sıcaklığın etkisi (Francken, 1997)



5.2.2 Yorulma çatlağı

EVA gibi polimerlerin yaptığı iyileşmeler, düşük ısı hassasiyetli iki tip karışımın kalıcı deformasyon eğilimi, yine Şekil 5.2.den tekerlek izi oranıyla görülebilmektedir.

Üç noktalı eğilme testi kullanılarak birleştirilmiş-yük yorulması çalışmasının 0 °C de yapılan bir örneği Şekil 5.3.de görülmektedir. Testler bir yoğun asfalt betonu kirişi numunesine, bir dalgalı sabit deformasyon uygulanarak bozulma meydana gelene kadar sürdürülmüştür. Testlerde genellikle, deformasyon seviyesini sürdürmek için, gerekli durumda yükleme ilk değerinin yarısına düşürülmüştür. Şekil 5.3.göstermektedir ki bir bitüme SBS polimeri ilave edildiğinde yoğun asfalt betonun yorulma çatlaklarına karşı direnci gelişmektedir (Valkering, 1992).

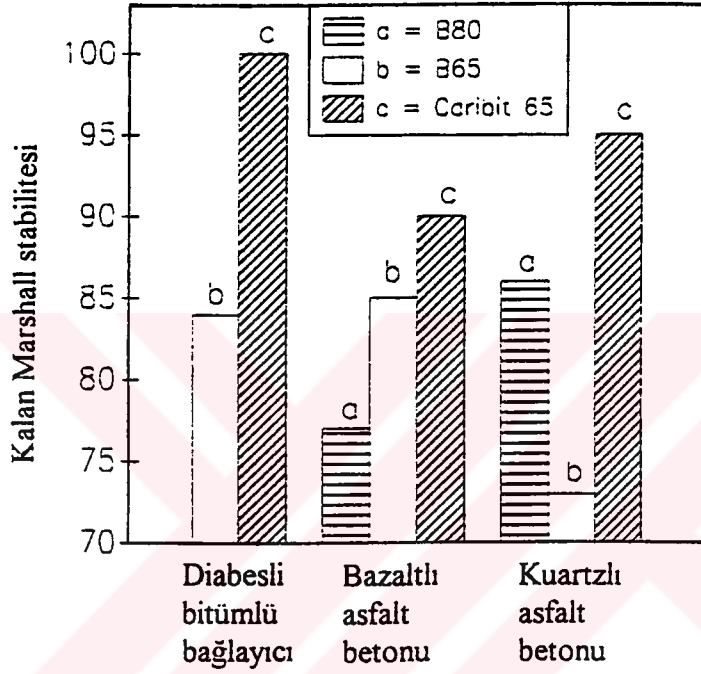


Şekil 5.3. Bozulma tekerrürünün bir fonksiyonu olarak gerilme seviyesi (Francken, 1997).

5.2.3 Soyulma

Asfalt karışımlarda, mevcut suyun agrega yüzeyindeki bitümün yerini alması, yani soyulma meydana gelmesi kaplamanın bozulmasına neden olur. Suyun sebep olduğu etkiler, asfalt

numunesinin gerilme kuvveti yada Marshall stabilitesi gibi mekanik özellikleri, su etkisinden önce ve sonra değerlendirmek suretiyle, “Islak” ve “Kuru” numunelerin stabilite oranı hesaplanarak soyulmaya karşı direncin ölçülmesinde kullanılmıştır. Şekil 5.4 Polimer Modifiye Bitümlerin (SBS Modifiyeli bağlayıcılar gibi) asfalt karışımların suya karşı dirençlerinde pozitif bir etkiye sahip olduklarını göstermektedir (Becken, 1992) (Francken, 1997).



Şekil 5.4 Su depolamasından sonra kalan Marshall stabilitesi (Francken, 1997).

5.2.4 Yaşlanma

Bitümlü bağlayıcıda yaşlanma, fiziksel ve/veya kimyasal değişime ile yaptırılır ve genellikle buna bitümün sertleşmesi eşlik eder. Yol uygulamalarında bitüm, yaşlanma bakımından üç farklı duruma maruz kalır; (I) depolama sırasındaki yaşlanma, (II) karıştırma, taşıma ve serme sırasındaki yaşlanma ve (III) servis hayatı boyunca meydana gelecek yaşlanma. Yaşlanma normal bitümde bir kompleks süreçtir ve polimer katıldığında komplekslik artar (Francken, 1997).



Traxler asfaltın yaşlanma sebeplerini 1961'de şöyle gösterdi;

- 1- Oksidasyon,
- 2- Uçucu (gaz) haline gelme,
- 3- Zaman,
- 4- Ultraviyole ışınların polimerizasyona sebep olması,
- 5- Yoğunlaşma polimerizasyonu (ısıyla).

Traxler bu listeyi 1963'de 15 e çıkardı. Ancak daha sonra 1984 de, Petersen bu sebepleri aşağıdaki üç esas nedene bağlamıştır;

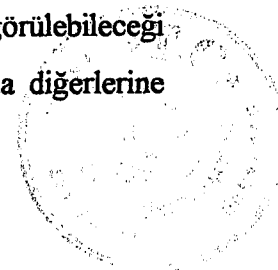
- 1- Uçma yada absorpsiyon sonucu yağ parçacıklarının kaybolması,
- 2- Atmosferik oksijen reaksiyonuyla kompozisyondaki değişme ve
- 3- Moleküler yapının tiksotropik etkilere yol açması (Bell vd.,1994).

Normal bitümün yaşlanma özellikleri, laboratuardaki yapay yaşlanmadan önceki ve sonraki yumuşama noktası ve viskozitesi gibi reolojik özellikleri ölçülerek belirlenmektedir. Bitümün polimerlerle modifiye edilmesi sonucunda, modifiye bitümün yaşlanma özelliklerinde gelişmeler olduğu bilinmektedir (Francken, 1997).

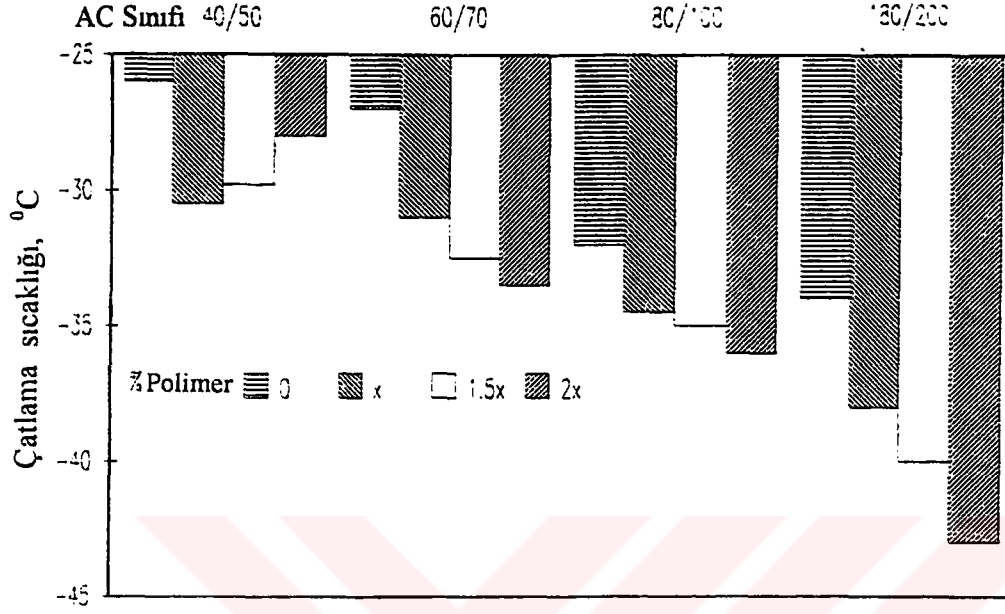
5.2.5 Isısal çatlama

Soğuk iklimlerde, üstyapılardaki çatlaklar yaygın bir problemdir. Düşük sıcaklık çatlakları, üstyapı malzemesinin gerilme gücünün termal gerilmelerle aşılması sonucunda meydana gelir. Düşük sıcaklıklardaki çatlakların derecesini etkileyen ana faktörün bağlayıcı özelliklerinden geldiği düşünülmektedir. Bitüm, polimerlerle modifiye edildiğinde düşük sıcaklık çatlaklarına karşı direnç artmaktadır (Button, 1992).

Şekil 5.5.de dört farklı dereceli bitümün, üç ayrı polimer içeriğiyle ve katkısız olmak üzere standart bir karışım tipi için teorik çatlama sıcaklıkları verilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, daha yumuşak (180/200) katkısız bitümlü karışımın çatlama sıcaklığı da diğerlerine



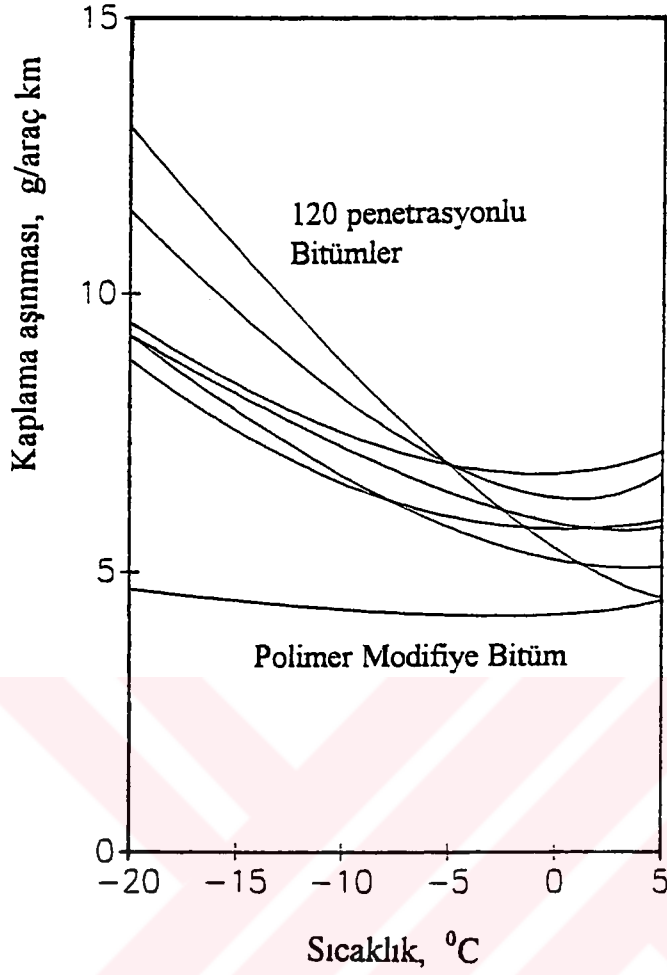
göre daha düşüktür. Her bir bitümün polimer oranı arttıkça çatlama sıcaklıkları genellikle düşmektedir (Francken, 1997).



Şekil 5.5 Dört çeşit bitüm ve üç polimer içeriği için teorik çatlama sıcaklığı (Francken, 1997).

5.2.6 Aşınma

Esnek üstyapı kaplamaları için problem teşkil eden bir başka durum da, düşük sıcaklık bölgelerinde iri dişli lastiklerin kullanılmasıdır. Kaplamaların iri dişli lastiklerden etkilenmesinde en önemli faktör agrega kalitesidir. Bununla beraber Şekil 5.6.da görüldüğü gibi bağlayıcı özellikleri de kaplamanın aşınmasını etkiler. Şekilde, farklı orjinli yada farklı rafinerilerden sağlanan, ancak hepsinde 120 penetrasyon dereceli olan altı adet bitüm ile polimer modifiyeli bitümün kullanıldığı karışımlar üzerinde yapılan aşınma denemeleri görülmektedir. Çalışmada kullanılan karışımların hepsinde de minimum aşınmanın 0 °C'de meydana geldiği ve düşen ısı seviyesiyle aşınmanın arttığı görülmektedir. Polimer modifiyeli karışım üzerindeki aşınma minimum noktada diğer katkısız karışımların hepsinden daha düşüktür ve modifiyeli karışım üzerindeki aşınma miktarında düşen sıcaklığın etkisi de çok düşüktür.



Şekil 5.6 Neste'nin Test yolundan alınan aşınma test sonuçları (Franken, 1997)

5.3 Değerlendirme

Bitümlü üst yapıda özel katkı maddesi kullanılmasında amaç, daha iyi yol performansını sağlamak içindir.

Yukarıdaki bölümlerde izah edildiği gibi, polimerlerin eklenmesiyle bitüm ve bitümlü karışımların özelliklerinde birtakım gelişmeler olduğu laboratuvar araştırmalarıyla örneklenmektedir. Performans testleriyle bu neticelerin teyit edilmesi gerekmektedir. Bu tip çalışmalarda, laboratuvarlarda denenen malzemeler ve karışımlar ile deneme yollarında test edilen malzemeler ve karışımların aynı olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, bunun gibi karşılaştırmalı çalışmalarda polimer katkıli bitümlerle referans (katkısız) bitümlerin dikkatli seçilmesi gerekir. Saha performansı, bizzat sahadaki ölçümlerle karakterize edilmeli, sahadan (deneme yolundan) alınan numunelerin laboratuarda test edilmesi şeklinde olmamalıdır.

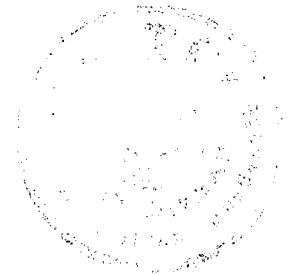
Farklı modifiyerler kullanılarak inşaat esnasındaki ve servis esnasındaki performansının sınanması deneme modifiye asfalt üstyapılarının ölçümüyle 1990 yılında gerçekleştirilmiştir (Button, 1992);

Beş farklı modifiyerin değerlendirilmesi için inşa edilen, bir aradaki deneme üstyapılarının bulunduğu 30' dan fazla deneme yollarından bilgiler toplanmış ve 20 civarındaki farklı modifiyerlerin saha performansı test edilmiştir. Bunların çoğunda, kontrol kesimleri ile testlerde ölçülen performanslar da önemli farklılıkların olmadığı tesbit edilmiştir. Bununla beraber şuda belirtilmelidir ki ölçümü yapılan saha performanslarında servis hayatı 5 yıldan daha kısadır.

Yakın bir tarihte yayınlanan "Strategic Highway Research Program (SHRP)" de hazırlanan bilimsel raporda (Coplants vd., 1993); modifiye bitüm özellikleri ile üstyapı performansı arasındaki ilişkilerin Amerika'da ki çalışmaları verilmektedir. Bu çalışmaların sonuçlarından da polimer modifiyeli bağlayıcıların üstyapı performansını geliştirdikleri anlaşılmaktadır.

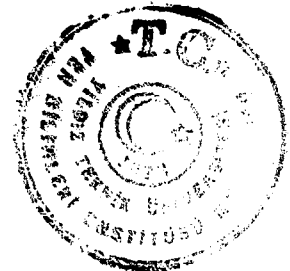
Ancak, çoğu ülkelerde kullanılan toplam bitüm miktarlarının çok azı modifiye edilmiş bitümlerdir. Fransa, Belçika ve Macaristan gibi bazı ülkelerde bu oran %10 - 20 seviyelerine yükselmektedir (Francken, 19) .

Modifiye bitümlerin düşük oranlarda kullanılmasının esas sebebi, klasik bitümün iki mislini geçebilen fiyatlardır ki buda karışım fiyatının ~ % 35-40 arasında artmasına karşılık gelmektedir.



Sonuç olarak, değerlendirmelerin tümünde polimer modifiyeli bağlayıcılar, klasik bitümle kıyaslandığında gelişmiş performans verdikleri tespit edilmekte olup, gelecekte modifiye bitümlerin daha çok aşağıda belirtilen özel uygulama sahalarında kullanılacağı düşünülmektedir:

- Kavşaklar,
- Yoğun şehir yolları,
- Otobüs durakları,
- Kamyon park sahaları,
- Köprü tabliyeleri,
- Tüneller,
- Yoğun otoyollar,
- Havaalanları,
- Yenileme ve tamir çalışmaları,
- Özel yüzeyler,
- Daha ince tabakalar,
- Ağır trafikli yollarda yapılacak yüzey kaplamaları ve
- Ara tabakalarda gerilme emen membranlar.



BÖLÜM 6

BAĞLAYICI ve KARIŞIMLARLA YAPILAN LABORATUAR ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI ve BİR YORULMA EĞRİSİ TAHMİN MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Tezin bu bölümünde, çalışmada kullanılan katkısız ve katkılı bağlayıcılar ve bunlarla oluşturulan karışımlar üzerine yapılan laboratuvar çalışmaları ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmektedir. Ayrıca, deneysel çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak bağlayıcıların bazı özelliklerine bağlı olarak bir yorulma eğrisi tahmin modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Son yıllarda oldukça yoğunlaşan modifiye bitümler konusundaki araştırmalar ve çalışmalarda, önceki bölümlerde de vurgulandığı gibi, bitümlerin özelliklerinin iyileştirilmesinde dolayısıyla da kaplama karışımlarının performanslarının geliştirilmesinde daha çok polimer sınıftan katkı maddelerinin kullanıldığı görülmektedir.

Bu gelişmelere paralel olarak bu çalışmanın laboratuvar uygulamalarında, bitüm katkı maddelerinin polimer sınıfının elastomer grubundan olan Stren-Butadien-Stren (SBS) katkı maddesi ve plastik grubundan olan Etilen-Vinil-Asetat (EVA) katkı maddesi ile (Çizelge 5.1) modifiye edilmiş bitümler üzerinde çeşitli laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, Türkiye ve Belçika'da olmak üzere iki farklı laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacına uygun olarak katkılı bağlayıcıların etkilerini ortaya koyabilmek için agrega özellikleri sabit tutulmuştur.



6.1 Çalışmada Kullanılan Bağlayıcılar

6.1.1 Bağlayıcılar ve katkı maddeleri

Çalışmada, AC 60-70 sınıfı bitüm ile bu bitümün SBS ve EVA katkılarıyla modifiye edildiği modifiye bağlayıcılar aşağıdaki şekilde sembolize edilerek herbir sembolün karşılığı olan bağlayıcıya ait tanımlar genel olarak verilmiştir:

- 1- **B1**: AC 60 - 70 sınıfı, 63 pen. bitüm,
- 2- **SB1**: AC 60 - 70 sınıfı, 63 pen. bitüm + %5 SBS Shell Cariflex (Kraton) TR 1101,
- 3- **B2**: AC 60 - 70 sınıfı, 65 pen. bitüm,
- 4- **SB2**: AC 60 - 70 sınıfı, 65 pen. bitüm + % 3,5 SBS Repsol C501,
- 5- **EB2**: AC 60 - 70 sınıfı, 65 pen. bitüm + %5 EVA Exxon PB 104.

Bu bağlayıcılardan, B1 ve SB1 ile yapılan deneysel çalışmalar, Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında ve B2, SB2 ve EB2 ile yapılan çalışmalar ise Belçika Yol Araştırma Merkezi (BRRC) laboratuvarlarında yapılmıştır.

Modifiye bağlayıcılarda kullanılan katkı oranlarının seçilmesinde, kaynak bilgilerden yararlanılarak, polimer sınıfı katkılarda yaygın olarak kullanılan oranlar esas alınmıştır.

6.1.1.1 SBS elastomer katkıli bağlayıcılar

Elastomer grubundan SBS polimeri, elastik ve termoplastik özelliklerin ikisinde birleştirdiklerinden yaygın olarak termoplastik kauçuklar (TR) olarak adlandırılırlar. SBS polimerler stiren-butadien-stiren tribilok zincirlerden meydana gelmişlerdir (Bkz. Bölüm 4.4.3 ve 5.1.1.3).

Bu çalışmanın Türkiye'deki kısmında, AC 60-70 sınıfı klasik bağlayıcıya Shell firmasının ürünü olan Cariflex (Kraton) TR 1101 SBS katkısının %5 oranında, Belçika'daki kısmında ise Repsol C 501 SBS katkısının %3,5 oranında katıldığı modifiye bağlayıcılar kullanılmıştır.



6.1.1.2 EVA plastik katkı bağlayıcı

Plastik grubundan etilen-vinil-asetat polimeri, basınç ve gerilme sonucu akma özelliği gösteren polimerik malzemelerdir. Bu tip polimerler bitüm içerisinde kolaylıkla dağılırlar ve genellikle normal karıştırma ve uygulama sıcaklıklarında bitüm ile iyi uyum gösterirler (Bkz. Bölüm 4.4.4 ve 5.1.1.1).

Bu çalışmada Exxon PP 104 EVA katkı maddesinin % 5 oranında kullanıldığı modifiye bağlayıcı kullanılmıştır.

6.2 Uygulanan Deneyler

Laboratuvar çalışmalarında klasik bağlayıcı ve karışım testleriyle birlikte ülkemizde bulunmayan yeni test yöntemleri de kullanılmıştır. Bu yeni yöntemlerden bazıları standart yöntemlerdir, diğerleri ise geliştirildikleri ülkelerde belli standartları sağlamış olmakla birlikte prosedürleri taslak halindedir.

Çalışmada kullanılan yeni test yöntemlerinden BRRC yöntemi ile yaşlanma testi Bölüm 3.1.1.4.2' de, Elastik geridonuş % si testi Bölüm 3.1.1.2.2.F' de verilmiştir. Ülkemizde henüz kullanılmaya başlayan İndirekt Çekme Testi prosedürü ise “ Önal ve Kahramangil, 1993” adlı kaynakta verilmiştir.

Ayrıca bu çalışmanın ağırlıklı kısmını teşkil eden Bağlayıcının dinamik özelliklerinin ölçülmesi (Reolojik test) test prosedürü Ek -1' de ve Yorulma testi (Fatigue test) test prosedürü de Ek- 2' de verilmiştir.

Diğer test yöntemlerinden Dönen İnce Film Halinde Isıtma Testi (RTFOT) ve Asfaltın %' si tespiti deneylerine ait bilgiler ise EK-3' de verilmiştir.

Çalışmada yapılan deneylerin listesi aşağıda verilmiştir:



• **Bağlayıcı Deneyleri:**

- Penetrasyon deneyi,
- Yumuşama Noktası deneyi,
- Asfaltın %'si tespiti,
- Elastik Geridönüş deneyi
- RTFOT üretim yaşlanması deneyi,
- BRRC saha yaşlanması deneyi,
- Reolojik test.

• **Karışım Deneyleri**

- Marshall Stabilitesi deneyi,
- Daldırma Kaybı Marshall Stabilitesi deneyi,
- İndirekt Çekme testi,
- Yorulma deneyi.

6.3 B1 ve SB1 Bağlayıcılarıyla Yapılan Çalışmalar

B1 katkısız bitümü ve SBS katkılı bağlayıcısı ile, Çerkezköy Bağlantı Yolu aşınma tabakası için oluşturulan karışım dizaynı (YFŞ Tip-2' ye göre) ve optimum bitüm yüzdesi (% 5.75) kullanılarak Marshall briketleri hazırlanmış ve bu numunelerle aşağıdaki deneyler yapılmıştır:

- 1- Penetrasyon testi,
- 2- Marshall stabilitesi testi,
- 3- Daldırma kaybı testi,
- 4- İndirek çekme testi (Esneklik modülü ölçümü).

Yapılan deneyde bulunan bağlayıcıların penetrasyonları aşağıda verilmiştir:

<u>Bağlayıcı</u>	<u>Penetrasyon</u>
B1	63
SB1	31



Bu bağlayıcılarla oluşturulan karışımlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- **K1**: B1 katkısız bitüm ile oluşturulan karışım,
- **SK1**: SB1 modifiye bitümü ile oluşturulan karışım.

6.3.1 K1 ve SK1 Karışımlarının Marshall stabiliteleeri

K1 katkısız bitümlü karışımının ve SK1 modifiye bitümlü karışımının standart Marshall Stabiliteleeri ve daldırma kaybı Marshall Stabiliteleeri ölçülmüştür. Daldırma kaybı ASTM D-1075' e göre, ancak numuneler Marshall cihazında yüklenerek denenmiştir

Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1' de verilmiştir.

Çizelge 6.1 K1 ve SK1 Karışımlarının Marshall sonuçları

DENEY ADI	Karışımın Adı	
	K1	SK1
Marshall Stabilitesi, Kg.	1010	1182
Daldırma Kaybı Marshall Stabilitesi, Kg.	1785	2354 *
Daldırma Kaybı, %	177	199
Daldırma kaybı şartname sınırı, %	70	70

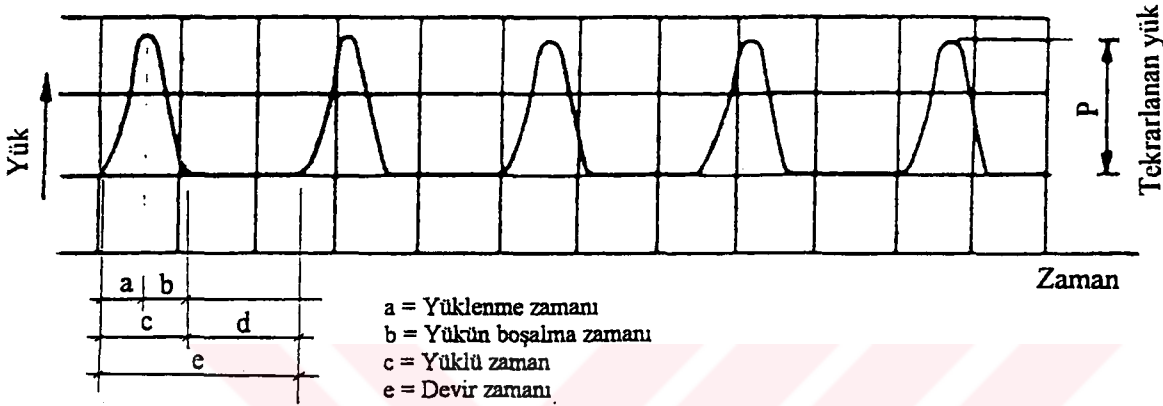
*Deney cihazının kapasitesi nedeniyle yükleme, numune kırılana kadar sürdürülmemiş, numuneler kırılmadan okunan en son değerlerdir. Bu değerlerin daha yüksek olduğu açıktır.

6.3.2 K1 ve SK1 Karışımlarıyla yapılan İndirekt Çekme testi (Esneklik modülü ölçümü).

K1 ve SK1 karışımlarıyla hazırlanan Marshall numuneleri üzerinde deney prosedürüne (Önal ve Kahramangil, 1993) uygun olarak İndirekt Çekme Testi yapılmıştır.

Deneyde; 1500 kN'luk, yük deney numunesine eksene dik yönde çizgisel ve dinamik olarak uygulanmıştır. Deneyin, yüklenme zamanı (rise time), yükün boşalma zamanı (fall time) ve yükün sıfır olduğu zaman (rest time) toplamından oluşan yük uygulanması arasındaki periyod (pulse periyod) ve deney sıcaklığı değiştirilerek uygulanmıştır.

Deneyde uygulanan haversin yükleme Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

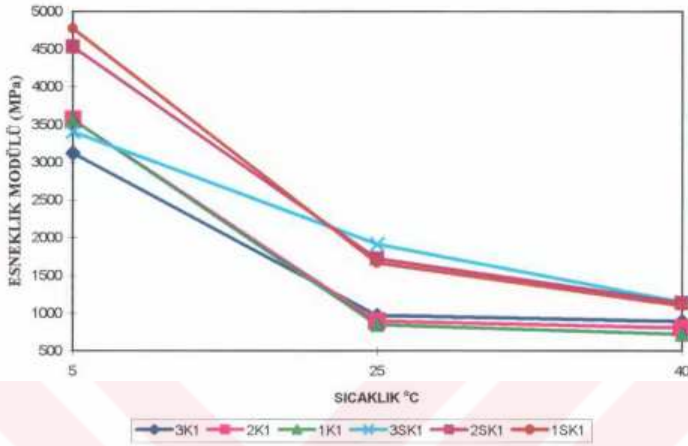


Şekil 6.1 İndirekt Çekme Testinde uygulanan haversin yükleme

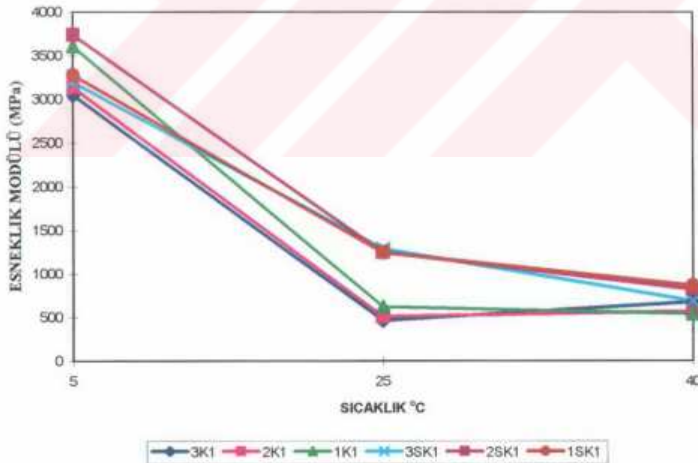
Bu deneyde, yukarıda belirtilen değişkenlere göre her bir numunede, esneklik modülü ve elastik deformasyonlar ölçülmüştür. Deney sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre Esneklik modülü-Sıcaklık ve Elastik deformasyon- Sıcaklık ilişkilerini gösteren grafiklerde Şekil 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. İndirek Çekme Testi sonuçları

	KARIŞIM											
	K1						SK1					
Devir zamanı, sn	3		2		1		3		2		1	
Yükleme zamanı, sn	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80	30	80
ESNEKLİK MODÜLÜ (MPa)												
5°C	3124	3049	3567	3140	3567	3610	3409	3197	4538	3743	4780	3278
25 °C	970	465	897	507	848	619	1915	1289	1721	1251	1665	1246
40 °C	896	675	807	568	723	541	1147	687	1137	817	1103	863
ELASTİK DEFORMASYON (µε)												
5°C	76,2	80,5	71,3	78,4	69,1	84,9	54,5	59,3	40,3	48,6	40,1	51,6
25 °C	270	280	207	267	205	284	170	167	136	174	140	174
40 °C	191	238	196	276	224	292	142	205	148	560	158	187

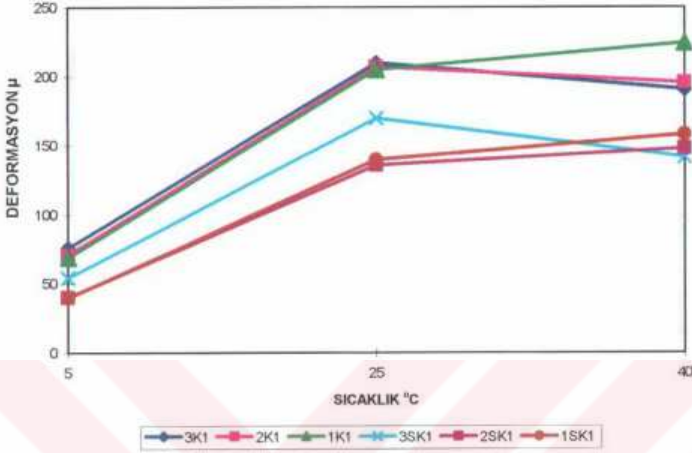


Şekil 6.2. Esneklik modülü sıcaklık ilişkisi (yüklenme zamanı RT=30 ms)

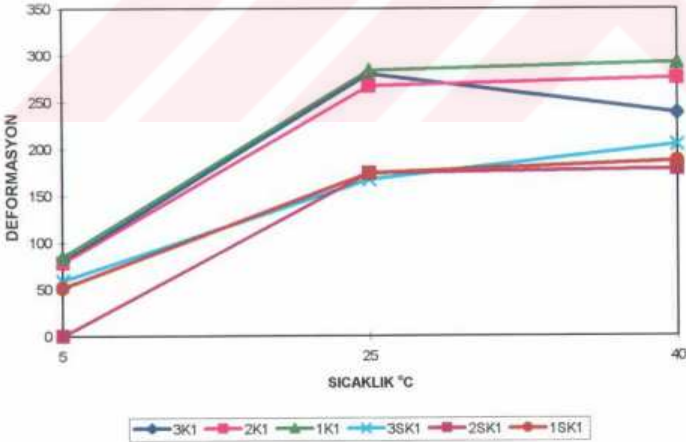


Şekil 6.3. Esneklik modülü sıcaklık ilişkisi (yüklenme zamanı RT=80 ms)

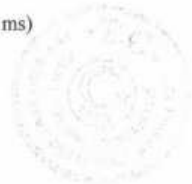




Şekil 6.4 Elastik deformasyon sıcaklık ilişkisi (yüklenme zanı RT=30 ms)



Şekil 6.5 Elastik deformasyon sıcaklık ilişkisi (yüklenme zamanı RT=80 ms)



6.4 B2, SB2 ve EB2 Bağlayıcılarıyla Yapılan Çalışmalar

B2 katkısız bitüm ile SB2 ve EB2 modifiye bitümlerinden oluşan üç bağlayıcı ile önce bağlayıcı deneyleri yapılmış daha sonrada bu bağlayıcılarla aşınma tabakası için yapılan dizayna göre oluşturulan karışımlar üzerinde deneyler yapılmıştır.

6.4.1 Bağlayıcı deneyleri

Üç bağlayıcı üzerinde aşağıdaki deneyler yapılmıştır:

- 1- Dönen İnce Film Halinde Isıtma Testi (RTFOT) (Üretim yaşanması),
- 2- BRRC yöntemiyle yaşlanma testi (Servis yaşanması).

Bu deneylerin prosedürüne uygun olarak her bir bağlayıcıya; Deneyden önce, RTFOT deneyinden sonra ve BRRC deneyinin 1., 2., 3., 6. ve 10. günlerinde alınan numuneler üzerinde şu deneyler uygulanmıştır:

- 1- Penetrasyon testi,
- 2- Yumuşama noktası testi (Küre & Halka yöntemiyle),
- 3- Asfaltın % si testi,
- 4- Elastik geridönüş % si testi,
- 5- Dinamik özelliklerin ölçümü (Kayma modülü, Young modülü, Faz açısı) (Reolojik test) (Bkz. Ek-1).

Bu deneylerden alınan sonuçlar çizelge 6.3'de bir arada verilmektedir.



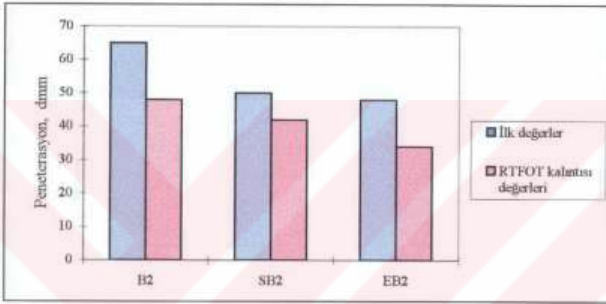
Çizelge 6.3 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarıyla yapılan bağlayıcı deneyleri sonuçları

DENEY ADI	BAĞLAYICI		
	B2	SB2 (B2+%3.5SBS)	EB2 (B2+%5 EVA)
Penetrasyon, dmm	65	50	48
Yumuşama Nok. (R&B), °C	49.5	62.0	70.5
Asfalten, %	9.4	8.7	11.2
Elastik Geridönüş, %	17.50	35.56	21.67
RTFOT YAŞLANMA TESTİ KALINTISI ÜZERİNDEKİ DENEYLER: ASTM D 2872			
Penetrasyon, dmm	48 (%26)	42 (%16)	34 (%29)
Yumuşama Nok. (R&B), °C	54.0 (%9)	61.8 (%60)	66.9 (%5)
Asfalten, %	11.63 (%24)	11.32 (%30)	12.07 (%8)
BRRC YAŞLANMA TESTİ KALINTILARI ÜZERİNDEKİ DENEYLER:			
Penetrasyon, dmm			
24. saat	44 (%32)	41 (%18)	34 (%29)
48. saat	38 (%42)	36 (%28)	30 (%38)
72. saat	35 (%46)	32 (%36)	28 (%42)
144. saat	28 (%57)	25 (%50)	23 (%52)
240. saat	24 (%63)	24 (%52)	21 (%56)
Yumuşama Nok. (R&B), °C			
24. saat	52.9 (%7)	64.1 (%3)	66.1 (-%6)
48. saat	55.5 (%12)	62.1 (%0)	68.3 (-%3)
72. saat	56.7 (%15)	63.0 (%2)	69.1 (-%2)
144. saat	60.1 (%21)	66.7 (%8)	71.3 (%1)
240. saat	61.3 (%24)	67.4 (%9)	75.3 (%7)
Asfalten, %			
24. saat	10.89 (%16)	9.89 (%14)	10.89 (-%3)
48. saat	12.49 (%33)	11.07 (%27)	12.43 (%11)
72. saat	13.31 (%42)	11.90 (%37)	12.50 (%12)
144. saat	14.12 (%50)	13.06 (%50)	14.52 (%30)
240. saat	15.72 (%67)	14.52 (%67)	15.23 (%36)
Elastik Geridönüş, % (240.Saat)	8.30 (%53)	36.11 (%1)	9.44 (%56)

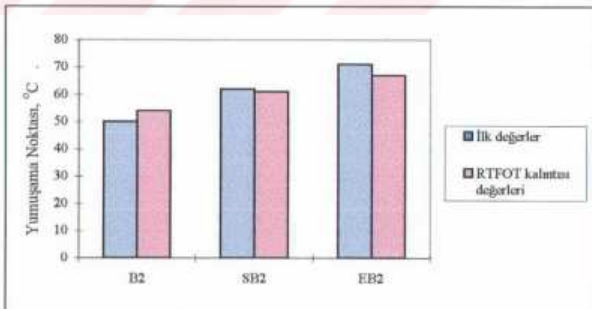
* Parantez içerisindeki değerler başlangıça göre değişim yüzdesini göstermektedir.

6.4.1.1 Bağlayıcıların RTFOT üretim yaşlanması

B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının Dönen İnce Film Halinde Isıtma Testinden (RTFOT) önceki ve deneyden sonraki olmak üzere, Penetrasyonlarındaki değişme Şekil 6.6' da, Yumuşama Noktasındaki değişme Şekil 6.7' de ve Asfaltın oranlarındaki değişimde Şekil 6.8' de grafik olarak gösterilmiştir.

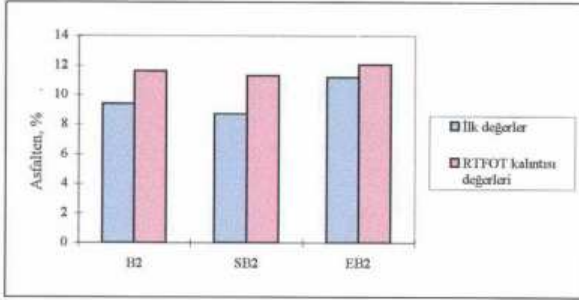


Şekil 6.6 Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki penetrasyonlarındaki değişme



Şekil 6.7 Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki yumuşama noktalarındaki değişme





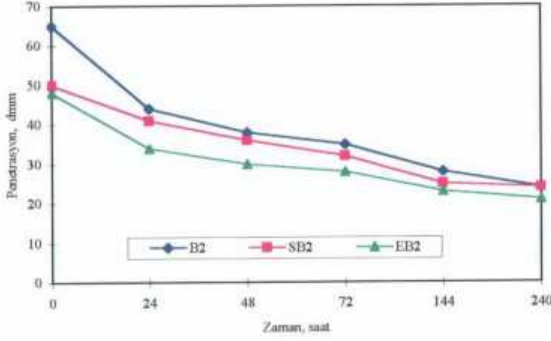
Şekil 6.8 Bağlayıcıların RTFOT deneyi öncesindeki ve sonrasındaki asfalt oranlarındaki değişme

6.4.1.2 Bağlayıcıların BRRC servis yaşlanması

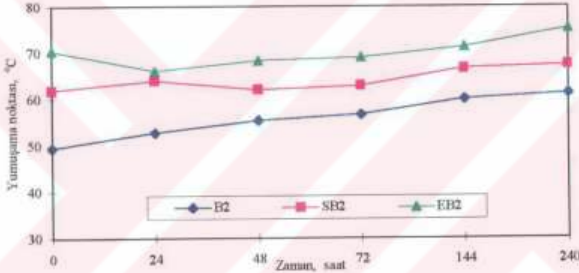
B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarıyla, Bölüm 3.1.1.4.2'de verilen şekilde, Belçika Yol Araştırma Merkezinde (BRRC) geliştirilen ve standartları belirlenen yöntemle saha yaşlanması deneyleri yapılmıştır. Deney standartına uygun olarak, 85 °C' de on gün sürdürülerek uygulanmıştır. Deneyin, birinci (24. saat), ikinci (48. saat), üçüncü (72. saat), altıncı (144. saat) ve onuncu (240. saat) günlerinde deneydeki bağlayıcılardan yeterince numuneler alınarak bu numunelerin Penetrasyon, Yumuşama Noktası ve Asfalt oranı değerleri ölçülmüştür.

BRRC yaşlanma deneyi uygulanan bu üç bağlayıcının Penetrasyon değerindeki değişme Şekil 6.9'da, Yumuşama Noktası değerlerindeki değişme Şekil 6.10'da ve Asfalt oranlarındaki değişme Şekil 6.11'deki grafiklerde gösterilmiştir.

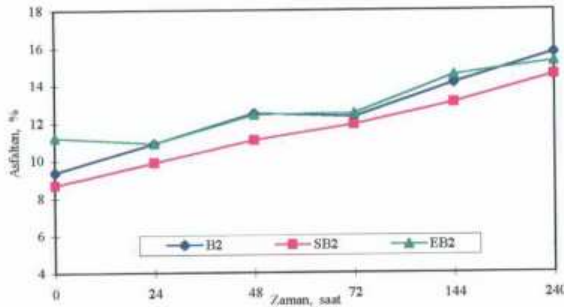




Şekil 6.9 Bağlayıcıların penetrasyonlarının BRRC servis yaşlanmasındaki değişimleri



Şekil 6.10 Bağlayıcıların yumuşama noktalarının BRRC servis yaşlanmasındaki değişimleri

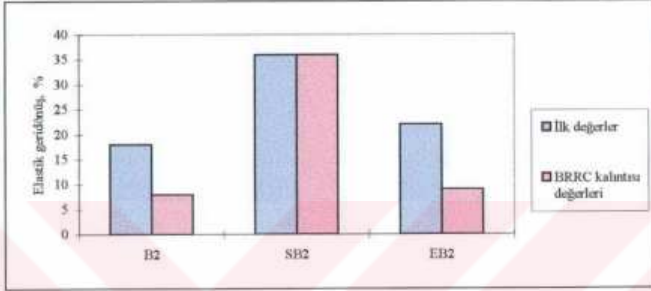


Şekil 6.11 Bağlayıcıların asfaltın oranlarının BRRC servis yaşlanmasındaki değişimleri



6.4.1.3 Bağlayıcıların Elastik geridönüşleri

B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının Bölüm 3.1.1.2.2.F'de verilen yöntemle Elastik Geridönüş değerleri, başlangıçta ve BRRC saha yaşlanmasından sonra olmak üzere ölçülmüştür. Bağlayıcıların ölçülen elastik geridönüş değerleri Şekil 6.12'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Katkısız ve modifiye bağlayıcıların elastik geri dönüşleri

6.4.1.4 Bağlayıcıların dinamik özellikleri (Kayma modülü, Young modülü, Faz açısı)

Reolojik test

B2 katkısız bitümü ile SB2 ve EB2 modifiye bitümlerinin dinamik özelliklerinin (sertlik modülleri ve faz açılarının farklı sıcaklıklar ve frekanslarda) ölçüldüğü reolojik test, BRRC saha yaşlanması deneyinden önce ve sonra olmak üzere her bağlayıcı için ikişer kez yapılmıştır.

Test koşulları: Reolojik ölçme, bu bağlayıcılar üzerinde - 25 °C ile + 60 °C sıcaklık aralığında (5 °C'lik adımlarla) ve 5 ile 50 Hz arasındaki 10 frekansta (5 Hz'lik adımlarla) Ek-1' de verilen test prosedürüne göre uygulanmıştır. -25 °C ve + 25 °C arasındaki sıcaklıklar için rijitlik modülü E^* ve faz açısı ϕ , silindirik numunelerle uygulanan çekme-basınç desteklerinden direkt olarak belirlenmiştir. + 25 °C ve + 60 °C arasındaki sıcaklıklar



için, sertlik modülleri ve faz açısı, dairesel kayma testleriyle ölçülen kompleks kayma modüllerinden (G^* , ϕ) çıkarılmıştır.

Deney Sonuçları: Bu ölçümlerden rijitlik modülleri ve faz açıları için Master eğrileri diye adlandırılan sonuçlar çıkarılmıştır. Bu eğriler geniş bir aralığı kapsayan sürekli bir eğri elde edilmeye kadar bir değiştirme faktörüyle, yatay eksen boyunca farklı izotermilerin (eş sıcaklık eğrilerinin) değiştirilmesiyle elde edilmiştir.

E^* rijitlik modülü sonuçları Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15'de ve ϕ faz açısı sonuçları da Şekil 6.16, 6.17 ve 6.18'de gösterilmiştir.

Bu değiştirme faktörü Arrhenüs eşitliğiyle tanımlanmıştır:

$$\alpha_T = e^{[(\Delta H/R) * (1/T - 1/T_s)]}$$

Burada:

- T = Kelvin sıcaklığı,
- T_s = Kelvindeki referans sıcaklığı, burada 288 K (15 °C),
- ΔH = Aktivasyon enerjisi, kcal/mol/K,
- R = Genel gaz sabiti = 1.987 cal/mol/K,
- f = Frekans, Hz.

Master eğrileri, her çeşit sıcaklık-frekans kombinasyonu için rijitlik modüllerinin (yada faz açısı) belirlenmesine imkan tanır. Bunlar, azaltılmış f_R frekansının logaritmasının bir fonksiyonu olarak rijitlik modüllerini (faz açısını) veren tek eğrilerdir.

$$f_R = \alpha_T * f$$



Aktivasyon enerjisi listeden belirlenir ki buradan E^* ve ϕ için mastır eğrileri polinomial fonksiyon olarak gösterilmiştir ve ΔH 30-65 kcal/mol aralığında 0,5 kcal/mol adımlarla değiştirilmiştir.

$$\log(E^*) = \sum_{i=0}^6 A_i * X^i$$

$$\phi = \sum B_i * X^i$$

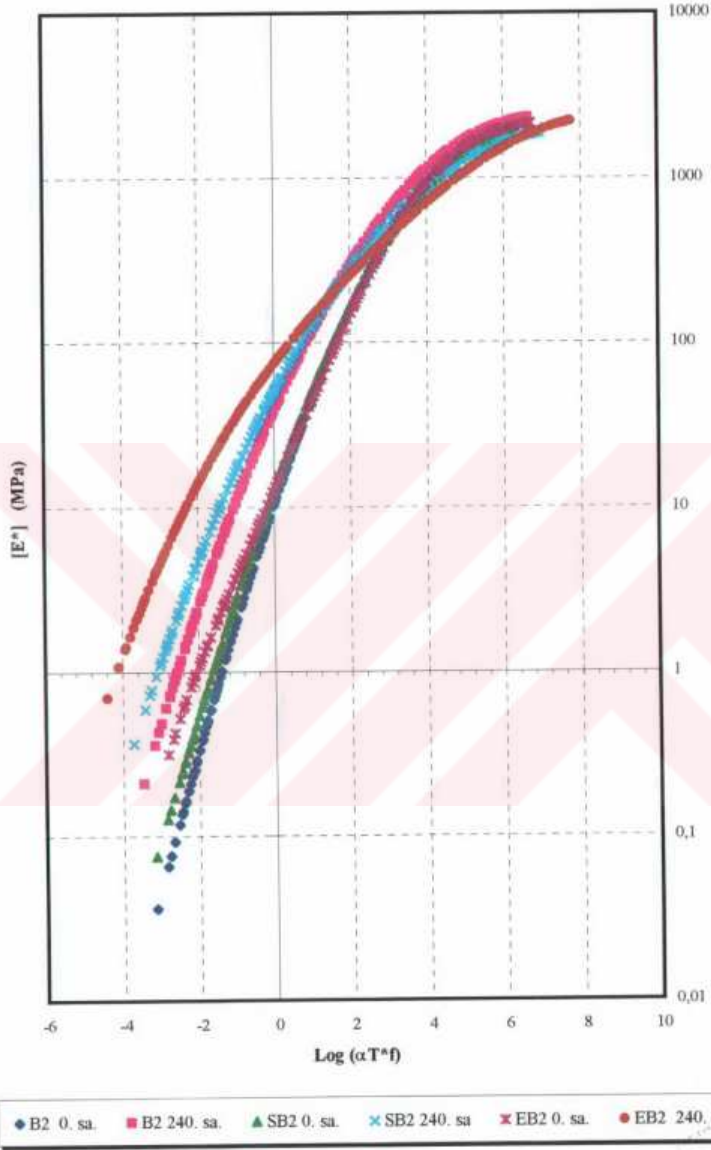
Burada:

$$X = \log(\alpha_T * f)$$

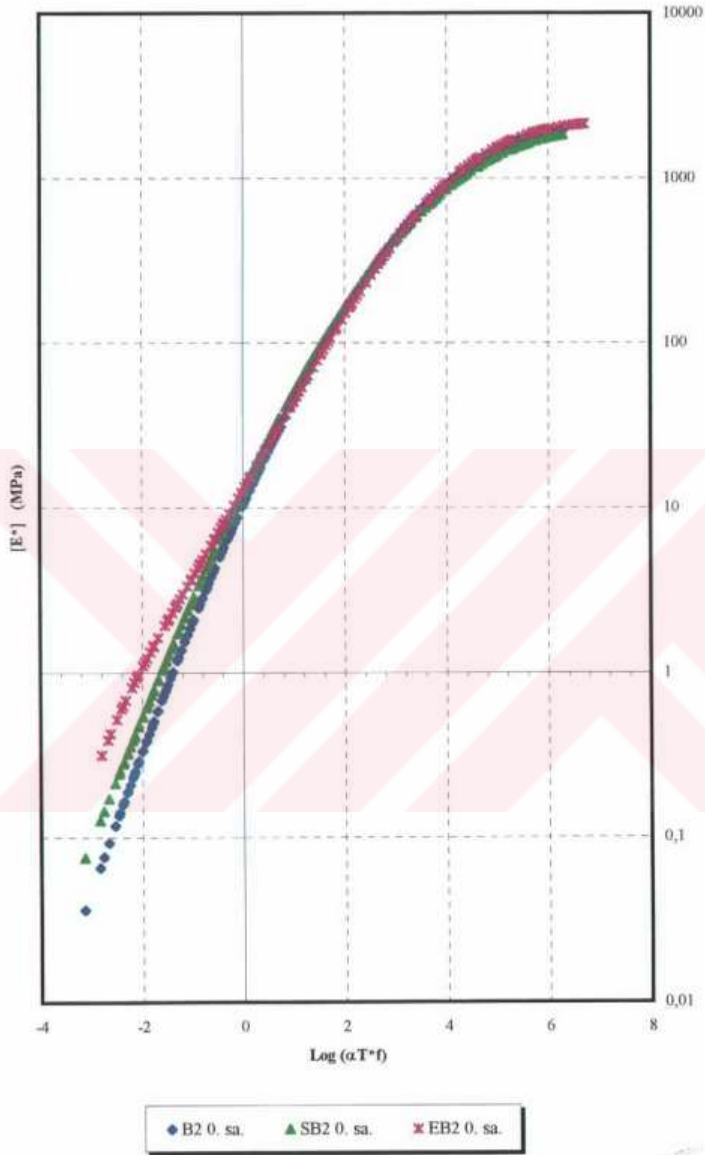
ΔH değeri standart sapmanın küçültülmesinde, değiştirme faktöründe bir değer olarak kullanmak için adapte edilmiş olup, prosedür, kaymakta (Francken ve Benedetto, 1997) detaylı olarak izah edilmiştir ve BRRC yazılımı "FIMAST" ile yürütülmüştür.

Çizelge 6.4 Bağlayıcıların E^* rijitlik modülü ve ϕ faz açısı için Master eğrisi parametresi

	Yaşlanma Öncesi			Yaşlanma Sonrası		
	B2	SB2	EB2	B2	SB2	EB2
E^* için master eğrisi						
E^* (Mpa)	2075	2198	2414	2600	2152	2700
ΔH (kcal/mol)	37.5	37.5	41	40.5	43	49.5
A0	1.01769806	1.10831257	1.10525863	1.58334960	1.69757912	1.86869105
A1	0.67556986	0.63198054	0.53697056	0.51780002	0.43823842	0.30620421
A2	-0.0395552	-0.0339279	0.00786282	-0.03877019	-0.03507933	-0.02375803
A3	0.00201422	-0.00307428	-0.00220995	0.00035508	0.00079645	0.00289947
A4	-0.00001715	0.00006656	-0.00227562	0.00001205	0.00004663	-0.00012349
A5	-0.00000208	0.00001822	0.00036289	-0.00001995	-0.00001940	-0.00003127
A6	0.00000216	0.00000007	-0.00001521	0.00000213	0.00000145	0.00000229
Düzeltilm Fak.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Std. Sapma	0.047	0.041	1.081	0.035	0.036	0.036
Faz açısı için master eğrisi						
ΔH (kcal/mol)	49.0	52.5	57.0	53.5	57	65
B0	61.2548722	56.0587144	53.5783254	45.3816029	39.3047125	31.8569128
B1	-8.1213623	-6.8675054	-4.1583134	-7.1044862	-5.9146976	-3.3618931
B2	-0.7332347	-0.7910950	-0.5602626	-0.0989376	0.13261651	0.25630841
B3	-0.0166999	0.01879011	-0.1295860	0.00993583	-0.0432243	-0.0789288
B4	0.0136498	0.01130037	0.00937583	0.00174296	-0.0037747	-0.0007538
B5	0.00265697	0.00182549	0.00454283	0.00106356	0.00288267	0.00172429
B6	-0.0003120	-0.0002369	-0.0003879	-0.0001021	-0.0002054	-0.0001086
Düzeltilm Fak.	0.999	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999
Std. Sapma	1.166	0.673	0.519	0.514	0.752	0.707

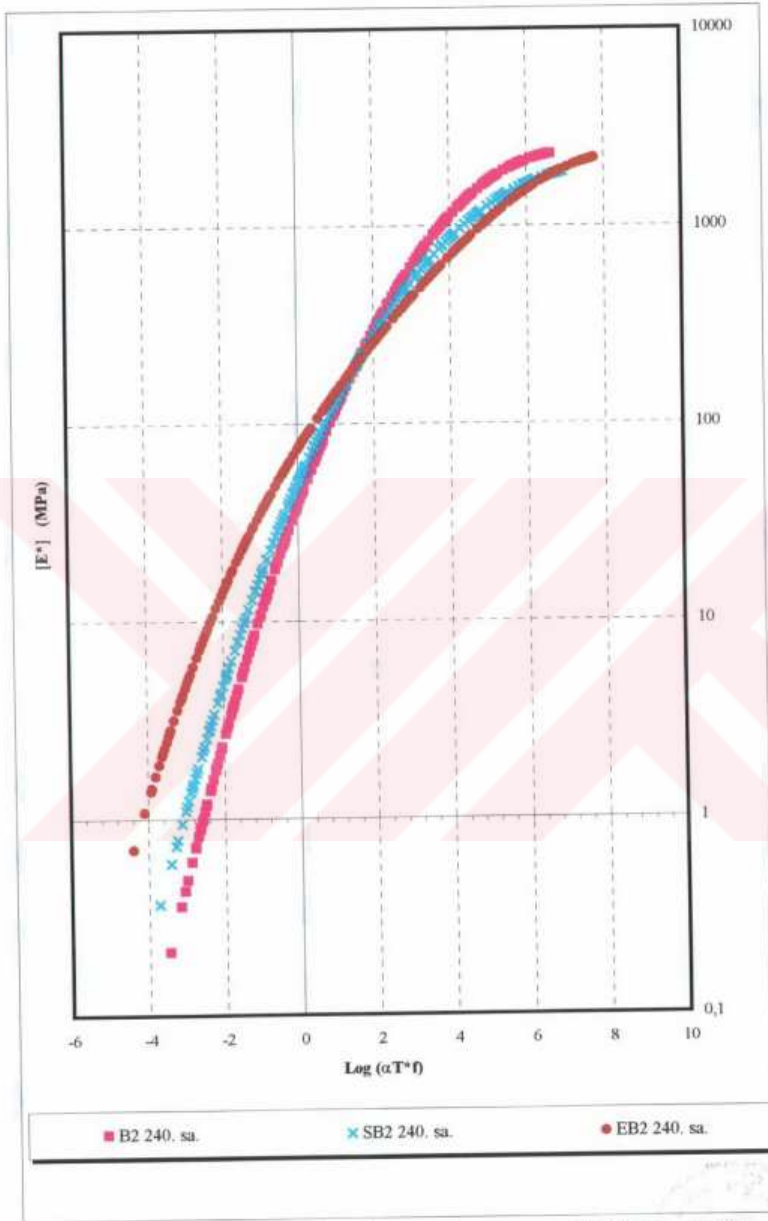


Şekil 6.13 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi ve sonrasındaki $[E^*]$ rijitlik modülleri için Master eğrileri

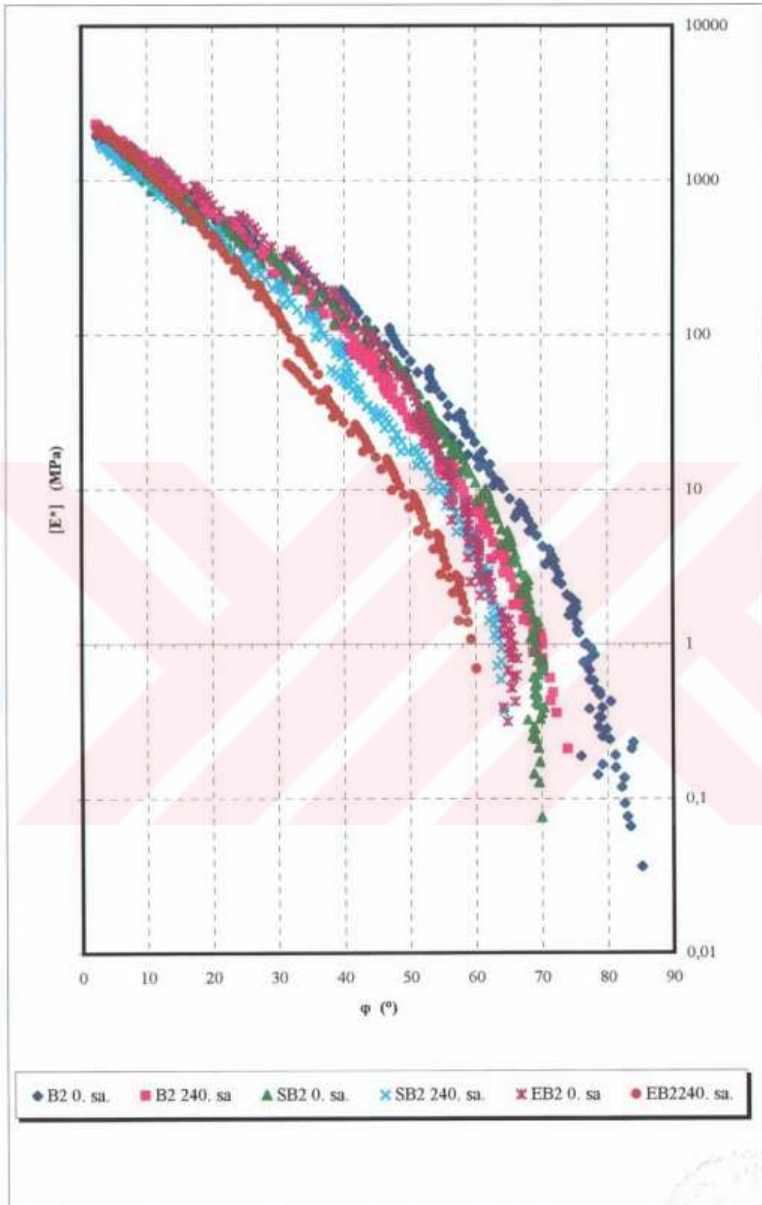


Şekil 6.14 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi $[E^*]$ rijitlik modülleri için Master eğrileri

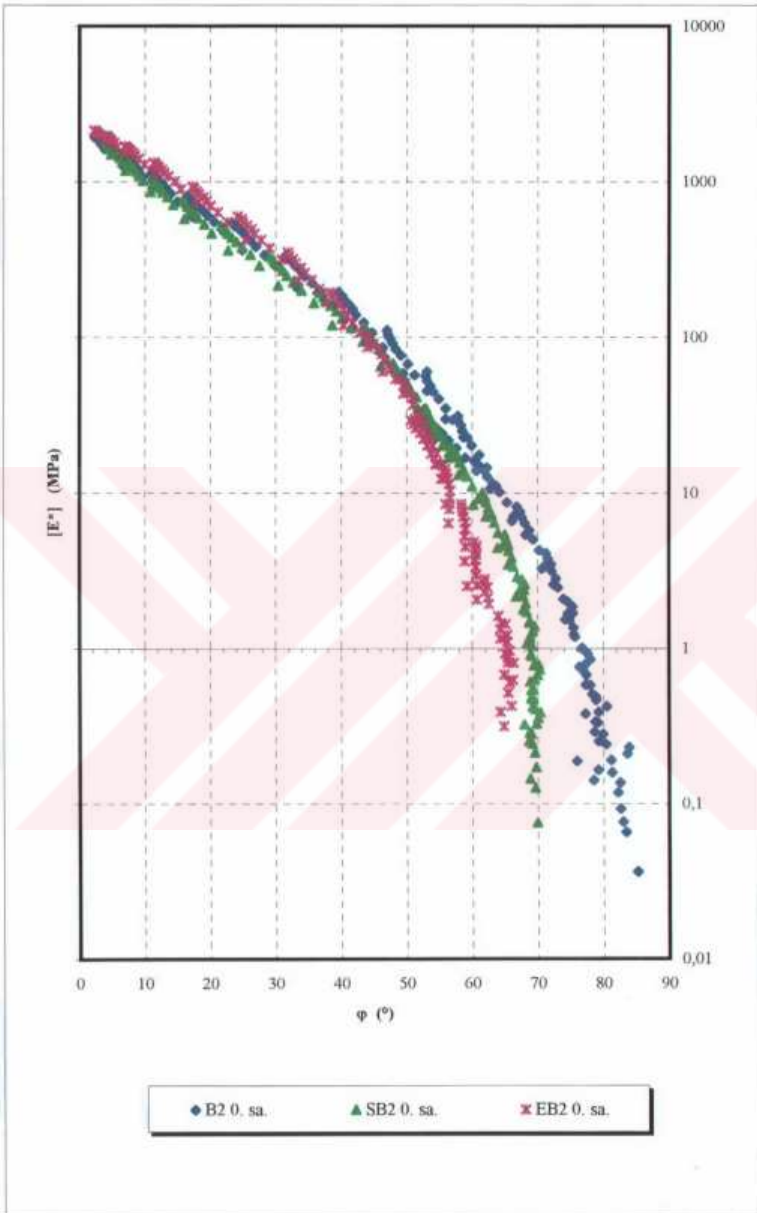




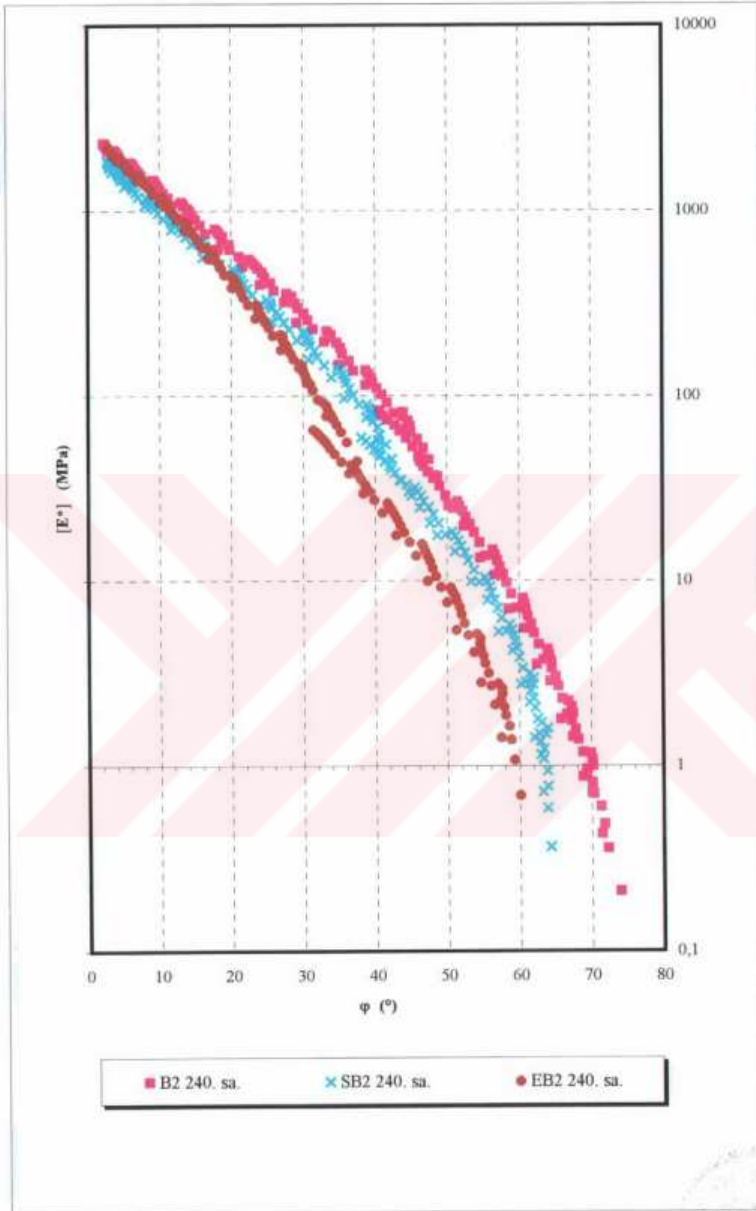
Şekil 6.15 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma sonrası $[E^*]$ rijitlik modülleri için Master eğrileri



Şekil 6.16 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi ve sonrası için ϕ faz açıları Black eğrileri



Şekil 6.17 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma öncesi için ϕ faz açıları Black eğrileri



Şekil 6.18 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının yaşlanma sonrası için φ faz açılı Black eğrileri

6.4.2 K2, SK2 ve EK2 karışımlarıyla yapılan çalışmalar

Üç bağlayıcı ile oluşturulan karışımlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- **K2:** B2 katkısız bitüm ile oluşturulan karışım,
- **SK2:** SB2 modifiye bitümü (SBS'li) ile oluşturulan karışım ve
- **EK2:** EB2 modifiye bitümü (EVA'lı) ile oluşturulan karışım.

Karışımlarda, aynı agrega karışım dizaynı ve aynı bağlayıcı yüzdesi (Çizelge 6.5) kullanılarak hazırlanan, Marshall numuneleri üzerinde; yük-deformasyon ilişkisi, trapez şeklindeki Yorulma numuneleri üzerinde de; yük tekerrürü-yorulma ve sıcaklık-rijitlik modülleri ilişkileri araştırılmış ve bu karışımların yorulma testi numuneleri kullanılarak Kompleks Modülleri ölçülmüştür.

Çizelge 6.5 Karışım dizaynları

Malzeme	Boyut mm	Karışım		
		K2 %	SK2 %	EK2 %
Agrega-P*	10/14	20	20	20
Agrega-P*	7/10	14	14	14
Agrega-P*	4/7	11	11	11
Agrega-P*	2/4	14	14	14
Kırılmış kum		21,3	21,3	21,3
Yuvarlak kum		3,3	3,3	3,3
İnce kum		8,2	8,2	8,2
Filler DURAS II		8,2	8,2	8,2
Bağlayıcı B2		6	-	-
SB2		-	6	-
EB2		-	-	6

* Porfier



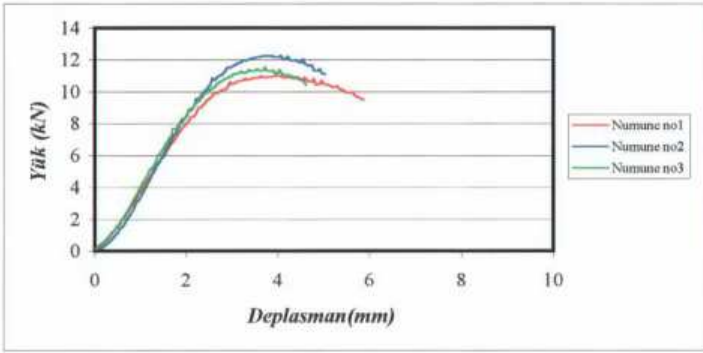
6.4.2.1 Karışımların Marshall ölçümleri

K2, SK2 ve EK2 karışımlarıyla hazırlanan numuneler Marshall cihazında kırılarak ölçülen Marshall stabilite, Marshall akmaları, Marshall oranları ve Deformasyon modülleri Çizelge 6.6'da her grup karışımın yük-deformasyon ilişkileri de Şekil 6.19, 6.20 ve 6.21'de grafikler halinde verilmiştir.

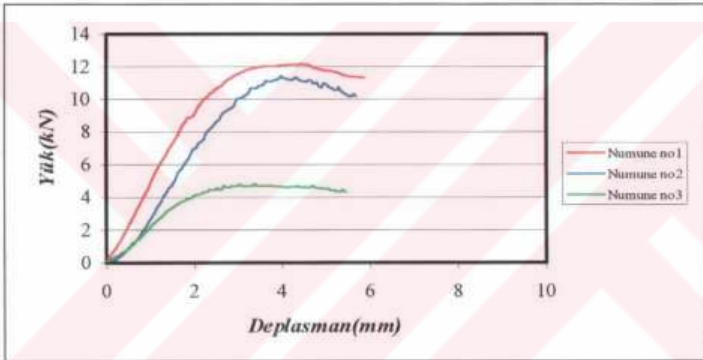
Çizelge 6.6 Karışımların Marshall özellikleri

Karışım	Stabilite (N)	Akma (mm)	Marshall oranı (N/mm)	Deformasyon modülü (MPa)
K2	12 130	3,6	3 363	63
SK2	12 170	3,9	3 101	63
EK2	12 820	3,4	3 782	69

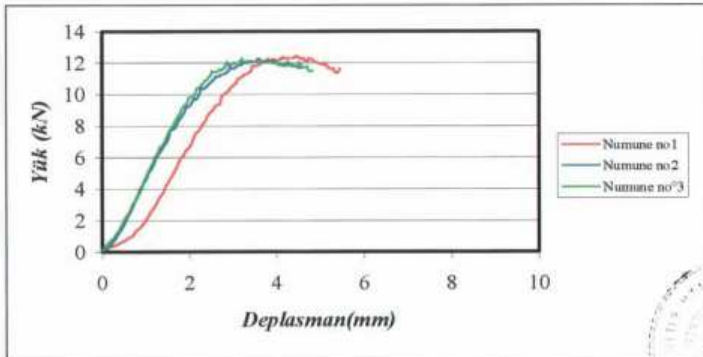




Şekil 6.19 K2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi



Şekil 6.20 SK2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi



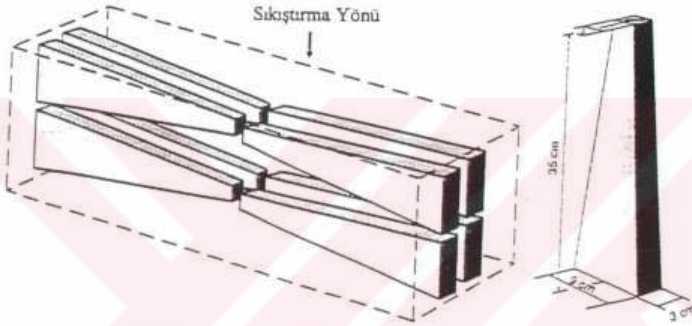
Şekil 6.21 EK2 Karışımlarının yük-deformasyon ilişkisi



6.4.2.2 Karışımların Kompleks modülleri ve Yorulma testleri

K2, SK2 ve EK2 karışımlarından trapez şeklinde Yorulma numuneleri üretilerek bu numuneler üzerinde Kompleks modül ölçümleri ve Yorulma testi (Fatigue test) yapılmıştır.

Numunelerin hazırlanması : Numune üretimi ve test uygulaması EK-2'de verilen test prosedürüne göre yapılmıştır. Numuneler Şekil 6.22'de gösterilen boyutlarda (35x9x3cm) hazırlanmıştır.



Şekil 6.22 Paralel bloklar halinde Yorulma testi numunelerinin üretilmesi

Numuneler, laboratuarda 60 x 40 x 12 cm boyutlarındaki kalıpta tabaka halinde dökülerek çift lastik tekerlekli bir sıkıştırıcı ile sahadaki sıkırtmaya benzer şekilde sıkıştırıldıktan bir gün sonra kalıptan çıkarılarak önce 3 cm genişliğinde plakalar halinde kesilmiştir. Daha sonra her bir plaka Şekil 6.22' deki ebatlarda kesilerek bir kalıptan 16 adet trapez şeklindeki numuneler üretilmiştir.

Bu şekilde her bir karışımdan (K2, SK2 ve EK2) 16 şar numune olmak üzere 48 adet numune hazırlanmış ve her bir numunenin Çizelge 6.7' de verilen ebat ve ağırlık ölçümleri yapılmış ve yoğunlukları bulunmuştur. Çizelge 6.7'da gösterilen, ortalama yoğunluğa en yakın iki numune seçilerek biri 0 °C' de diğeri 15 °C' de olmak üzere aşağıda açıklanan koşullarda Kompleks Modülleri ölçülmüş ve 7'şer numune üzerinde de Yorulma testleri yapılmıştır.



Çizelge 6.7 Yorulma test numunelerinin özellikleri

Karışım	Numune No.	Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (g)	Yükseklik (cm)	Alt genişlik (cm)	Üst genişlik (cm)	Kalınlık (cm)
K2	x 1	2.394	1508.0	34.94	8.97	2.97	3.02
	x 2	2.403	1516.3	34.92	8.92	3.01	3.03
	x 3	2.420	1531.8	34.94	8.91	3.0	3.04
	x 4 xx	2.414	1534.8	34.95	8.9	2.99	3.06
	x 5	2.413	1539.1	34.95	8.91	3.02	3.06
	x 6	2.407	1532.4	34.93	8.9	3.01	3.06
	7	2.397	1522.8	34.92	8.96	3.01	3.04
	8	2.418	1554.3	34.94	8.87	3.00	3.10
	9	2.475	1552.5	34.94	8.92	3.01	3.01
	10	2.408	1555.2	34.92	8.94	3.03	3.09
	11	2.407	1567.6	34.93	8.92	3.07	3.11
	x 12	2.410	1554.5	34.96	8.91	3.03	3.09
	13	2.436	1568.2	34.93	8.91	3.02	3.09
	14 xx	2.414	1550.1	34.95	8.96	3.01	3.07
	15	2.427	1559.0	34.96	8.92	3.05	3.07
	16	2.420	1603.6	34.89	8.88	3.03	3.19
	Ortalama yoğunluk = 2.416 g/cm ³		Standart sapma = 0.018 g/cm ³				
SK2	x 1	2.422	1532.6	34.98	8.91	3.03	3.03
	x 2	2.390	1507.3	34.98	8.90	3.08	3.01
	x 3	2.375	1491.6	34.95	8.88	3.06	3.01
	4	2.413	1541.2	34.93	8.89	3.06	3.06
	x 5	2.432	1537.8	34.93	8.87	3.08	3.03
	x 6 xx	2.410	1527.3	34.92	8.89	3.06	3.074
	7	2.417	1548.2	34.92	8.89	3.06	3.07
	8	2.420	1552.2	34.97	8.91	3.04	3.07
	9	2.413	1553.6	34.99	8.94	3.05	3.07
	10	2.402	1535.7	34.97	8.90	3.05	3.06
	x 11	2.420	1567.0	34.96	8.88	3.03	3.11
	x 12	2.423	1582.1	34.97	8.89	3.08	3.12
	13	2.426	1550.2	34.98	8.91	3.07	3.05
	14 xx	2.411	1497.4	34.97	8.91	3.05	2.97
	15	2.414	1546.3	34.97	8.94	3.07	3.05
	16	2.390	1473.4	34.98	8.84	3.03	2.97
	Ortalama yoğunluk : 2.411 g/cm ³		Standart sapma = 0.015 g/cm ³				
EK2	x 1	2.421	1531.2	34.99	8.95	3.02	3.02
	2	2.397	1450.9	34.97	9.00	3.03	2.90
	x 3	2.414	1566.0	34.96	8.99	3.06	3.08
	x 4 xx	2.394	1592.1	34.99	9.10	3.16	3.10
	x 5	2.414	1622.5	34.97	9.13	3.15	3.13
	x 6	2.390	1589.0	34.99	9.16	3.18	3.08
	7	2.399	1554.9	34.95	8.94	3.14	3.07
	8	2.383	1538.9	34.96	8.82	3.10	3.10
	9 xx	2.395	1548.1	34.99	8.84	3.04	3.11
	10	2.392	1543.4	34.98	8.87	3.03	3.10
	11	2.406	1549.4	34.97	8.85	3.07	3.09
	12	2.380	1544.9	34.98	8.89	3.08	3.10
	13	2.382	1507.1	34.98	8.88	3.06	3.03
	x 14	2.351	1391.5	34.96	8.86	3.02	2.85
	x 15	2.412	1523.9	34.96	8.83	3.02	3.05
	16	2.410	1513.7	34.98	8.85	3.04	3.02
	Ortalama yoğunluk : 2.395 g/cm ³		Standart sapma = 0.017 g/cm ³				

x Yorulma deneyi için seçilen numuneler (15 °C)

xx Kompleks modül için seçilen numuneler (0 °C ve 15 °C'de)



6.4.2.2.1 Karışımların Kompleks modülleri

Karışımların Ek-2'de verilen prosedüre uygun olarak yapılan modül ölçümlerinden rijitlik modülleri ve faz açılan için, Bölüm 6.3.1.4'de açıklandığı şekilde Master eğrileri çıkarılmıştır.

Bu üç karışımın Master eğrileri, farklı sıcaklık ve frekanslarda, birlikte ölçülerek E* rijitlik modülü için Şekil 6.23, 6.24, 6.25, 6.26'da ve ϕ faz açısı içinde Şekil 6.27, 6.28, 6.29 ve 6.30'da gösterilmiştir.

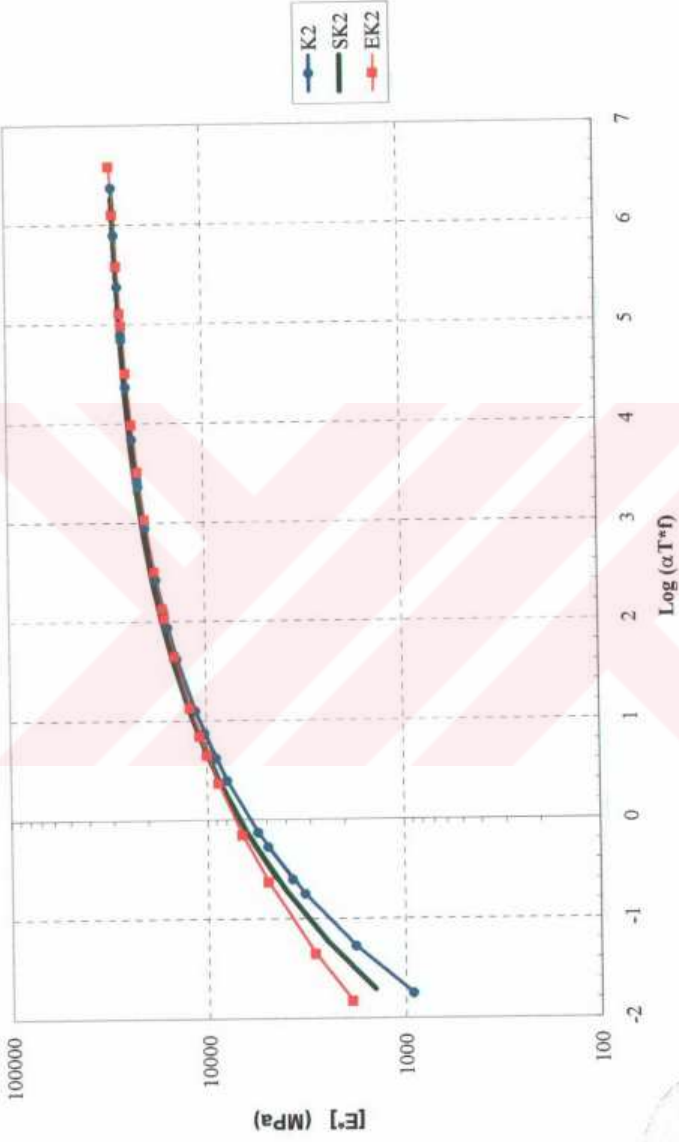
Değişik sıcaklık ve frekanslar için her bir karışımın E* kompleks modülü ve ϕ faz açısı değerleri Çizelge 6.8'de, üç karışım için alınan aktivasyon enerjisi ve polinomial uygunluk katsayısı da Çizelge 6.9'da verilmektedir.

Çizelge 6.8 Karışımların E* kompleks modülü ve ϕ faz açısı için Master eğrisi parametreleri

Sıcaklık (°C)	Frekans (Hz)	E* (Mpa)			ϕ (°)		
		K2	SK2	EK2	K2	SK2	EK2
-20	1	25208	25632	25926	3.8	6.5	4.1
	3	26292	26225	26506	2.8	4.6	3.8
	10	27266	27297	27327	2.7	4.2	3.6
	30	29194	29033	29018	2.1	4.0	2.9
-10	1	21893	22238	22449	6.7	8.1	6.1
	3	23212	23477	23635	5.5	7.3	5.5
	10	24515	24900	24830	4.8	6.9	5.0
	30	26846	26892	26852	3.9	6.1	4.4
0	1	15862	16507	15992	11.7	13.3	10.5
	3	17767	18332	17615	9.8	11.5	9.0
	10	19935	20260	19405	8.2	9.9	7.9
	30	22364	22630	21754	7.1	8.3	7.0
+10	1	8964	9987	10115	19.3	21.4	17.4
	3	11058	12112	11974	15.5	18.4	15.3
	10	13707	14508	14171	12.8	15.0	13.1
	30	16297	17258	16392	9.7	12.4	11.6
+20	1	3749	4437	4933	40.5	36.7	27.7
	3	5753	6386	6692	34.6	31.9	25.2
	10	7717	8576	8783	25.8	26.2	22.0
	30	10610	11056	11008	22.1	21.4	18.4
+30	1	923	1416	1854	54.0	52.0	39.3
	3	1769	2513	2867	49.5	46.8	35.6
	10	3151	4217	3763	42.9	40.3	19.6
	30	5081	5779	5134	39.1	34.9	16.1

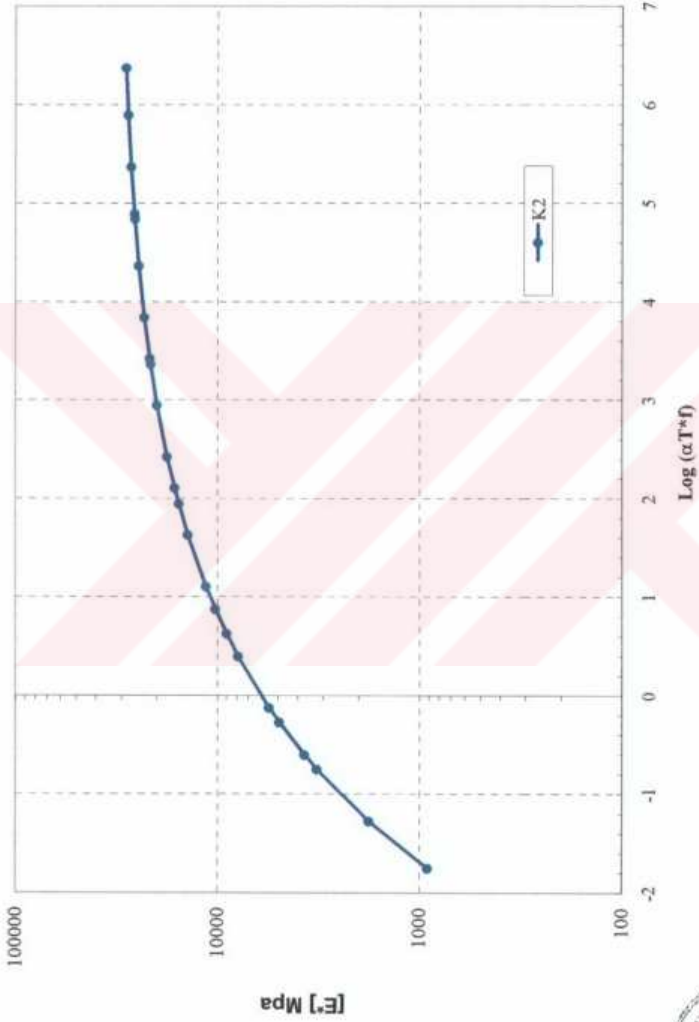
Çizelge 6.9 Karışımlar için alınan aktivasyon enerjisi ve uygunluk katsayıları

	KARIŞIMLAR		
	K2	SK2	EK2
E* için master eğrisi			
E* (Mpa)	33798	36587	34342
ΔH (kcal/mol)	46.5	45.5	48.5
A0	3.78604853	3.83848106	3.85995667
A1	0.31114813	0.27824796	0.23808842
A2	-0.06861680	-0.05488316	-0.03984833
A3	0.01036133	0.00714433	0.00345293
A4	-0.00115787	-0.00082911	-0.00011937
A5	0.00008375	0.00007563	0.00000018
A6	-0.00000266	-0.00000298	0.00000000
Düzeltilme Faktörü	1.0	1.0	1.0
Standart Sapma	1.017	1.014	1.014
Faz açısı için master eğrisi			
ΔH (kcal/mol)	56.5	53	64.5
B0	29.5525730	29.0120328	22.5375069
B1	-12.744525	-10.637104	-6.0314125
B2	1.44906445	1.27704006	0.50615649
B3	0.55045192	0.23741168	0.03937455
B4	-0.1813026	-0.0790266	-0.0085342
B5	0.01809624	0.00661254	0.00034656
B6	-0.0005673	-0.0001364	0.00000000
Düzeltilme Faktörü	0.998	1.0	1.0
Standart Sapma	0.940	0.378	0.226



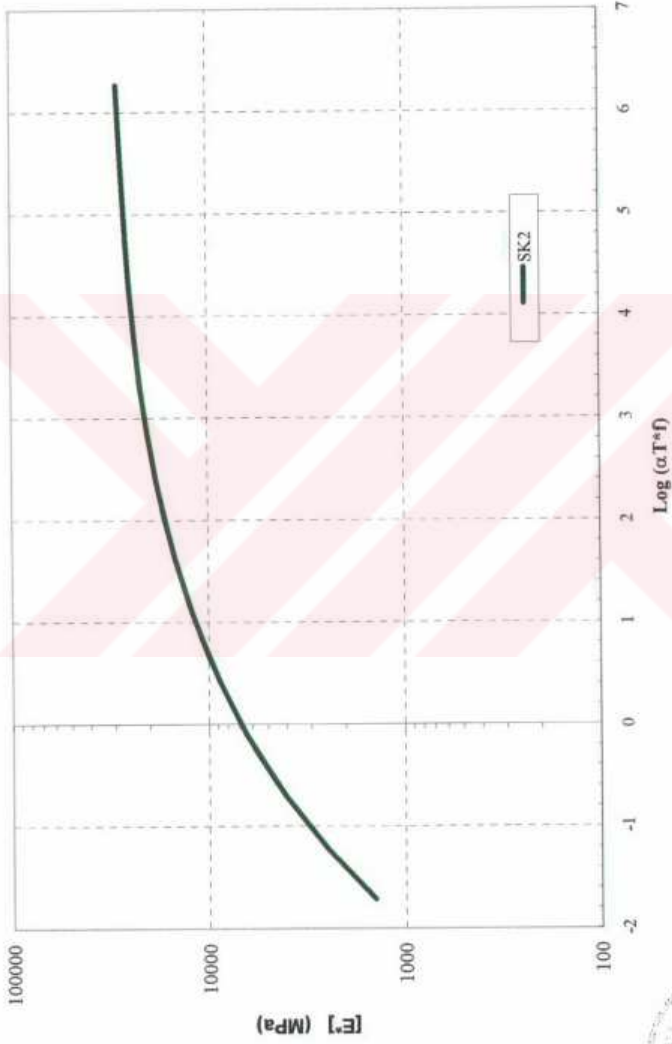
Şekil 6.23 K2, SK2 ve EK2 karışımlarının $[E^*]$ rijitlik modulleri için Master eğrileri





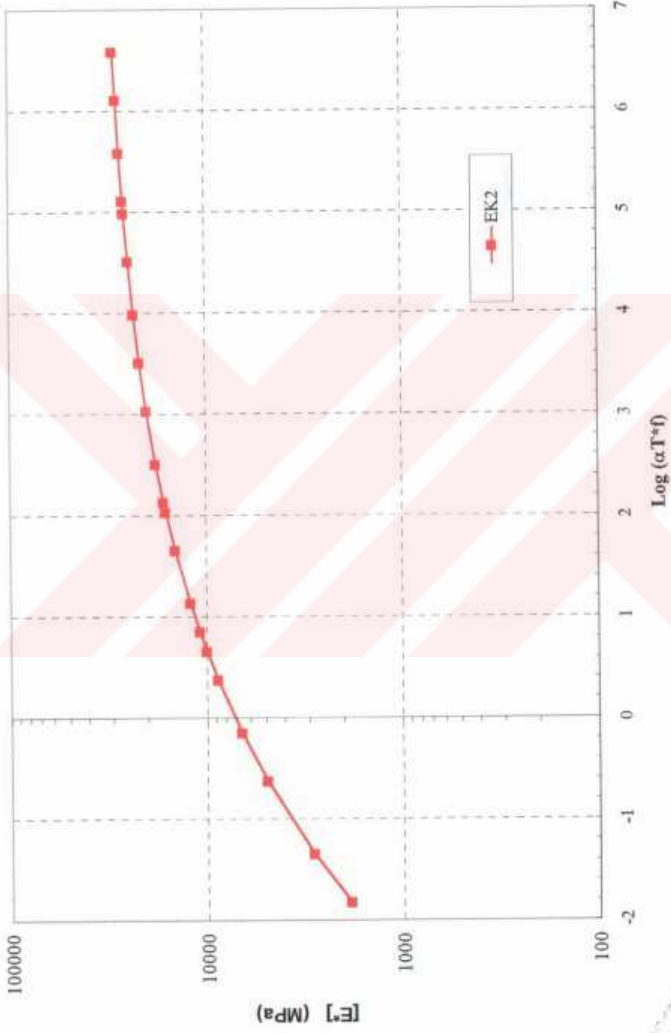
Şekil 6.24 K2 karışımının $[E']$ rijitlik modülü için Master eğrisi





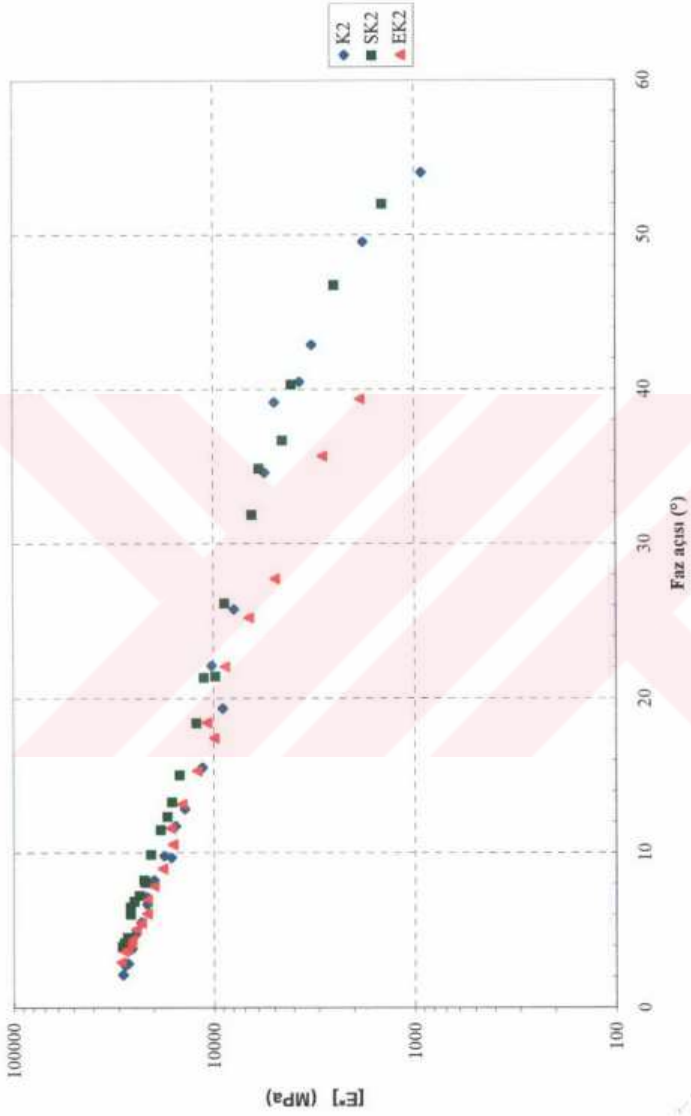
Şekil 6.25 SK2 karışımının $[E^*]$ rijitlik modülü için Master eğrisi





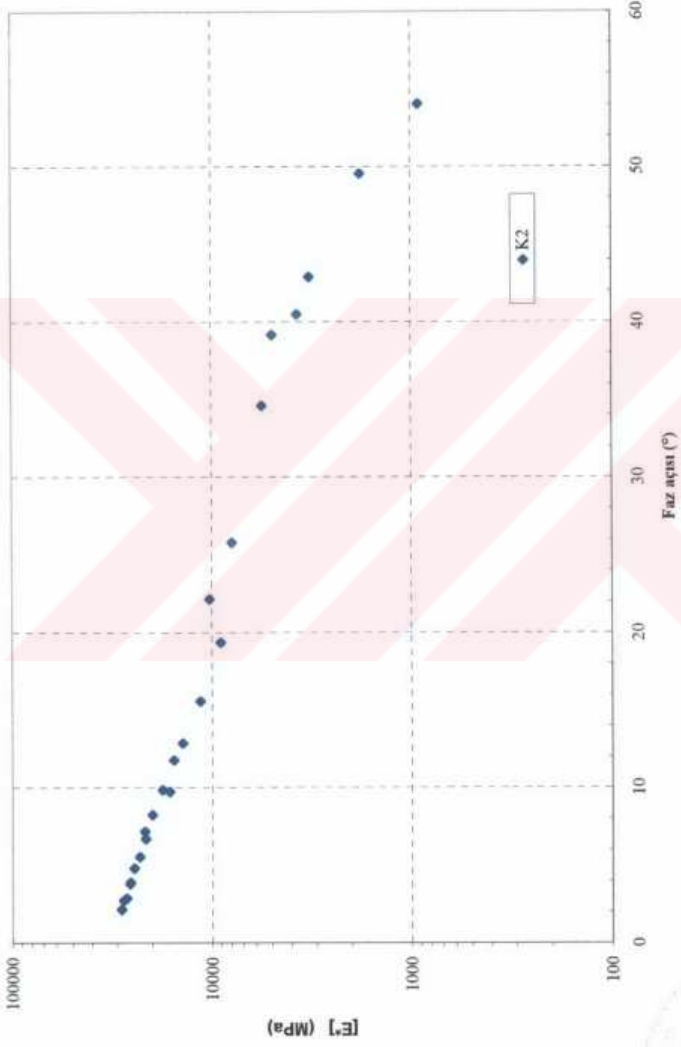
Şekil 6.26 EK2 karışımının $[E^*]$ rijitlik modülü için Master eğrisi

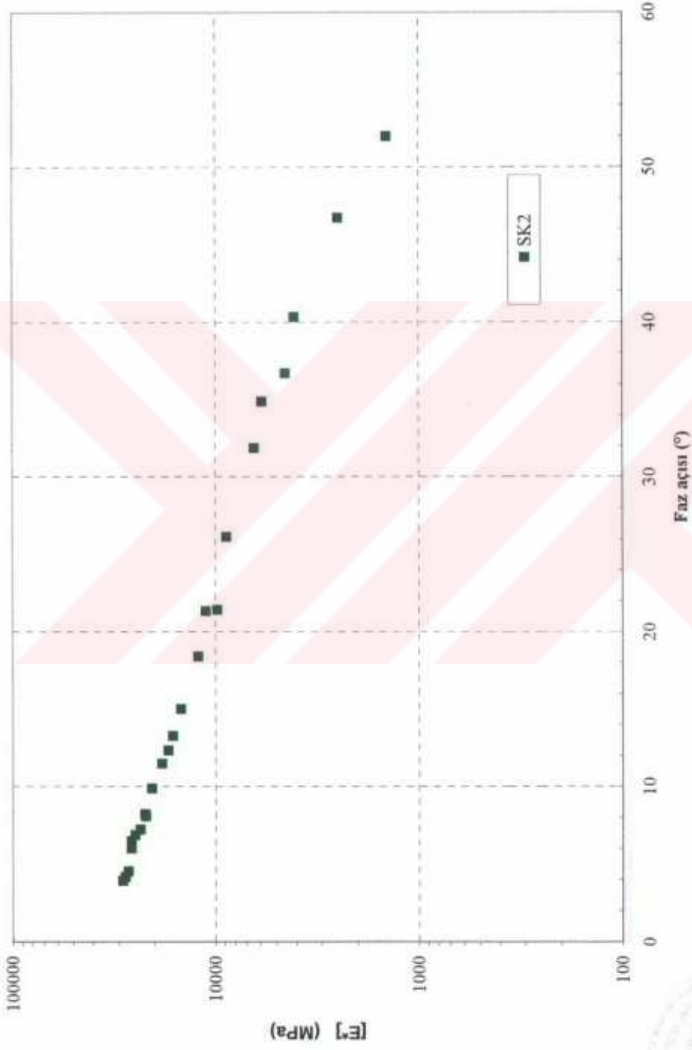




Şekil 6.27 K2, SK2 ve EK2 karışımlarının ϕ faz açıları için Black eğrilerinin karşılaştırılması

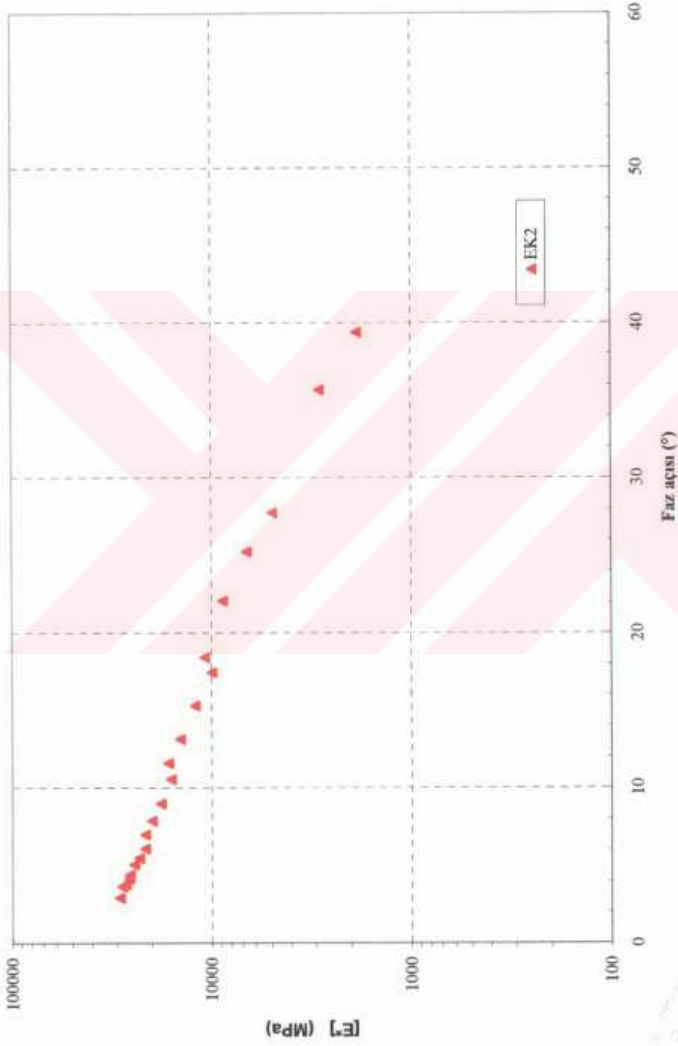


Şekil 6.28 K2 karışımının ϕ faz açıları için Black eğrisi



Şekil 6.29 SK2 karışımının ϕ faz açılı için Black eğrisi



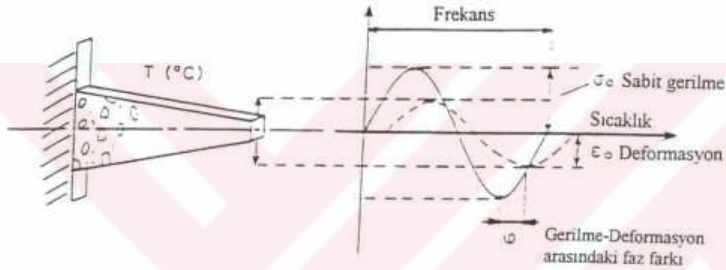


Şekil 6.30 EK2 karışımının ϕ faz açıları için Black eğrisi



6.4.2.2.2 Karışımların Yorulma (Fatigue) testleri

Karışım gruplarının her bir numunesine, Ek-2' de verilen test prosedürüne göre Yorulma (Fatigue) testi uygulanmıştır. Deneyde, numune alt başlığından sabitlenerek, serbest bırakılan üst başına sinüzoidal yüklemeler yapılarak (Şekil 6.31), sabit deformasyon altında yük değişimi ve sabit yüklemeye altında deformasyon değişimi belirlenmek suretiyle karışım numunelerinin yorulmaları ölçülmüştür.



Şekil 6.31 Yorulma deneyinde numunenin sinüzoidal yüklenmesi

Karışım numunelerinin yorulma deneyi 15 °C' de yapılmış olup, uygulanan deformasyon seviyelerinin yorulma sonuçları Çizelge 6.10' da verilmiştir.

Yorulma serbest değişken logaritması (el başlangıç deformasyon değeri) ve bozulmadaki N tekrür seviyesinin arasında bir lineer ilişki olduğu kabul edilmiştir.

$$Y \Rightarrow \text{Log}(N) = A \log(\epsilon L) + B$$

A ve B parametreleri, Log ϵL , Log N noktalarının tecrübeye dayalı olarak birleştirilmesiyle bir lineer regrasyon analizi yapılmıştır.

Bu bilinen yorulma esasıyla aynıdır.

$$\epsilon = K; N^m$$



Parametrelerin anlamı ve pratik önemi:

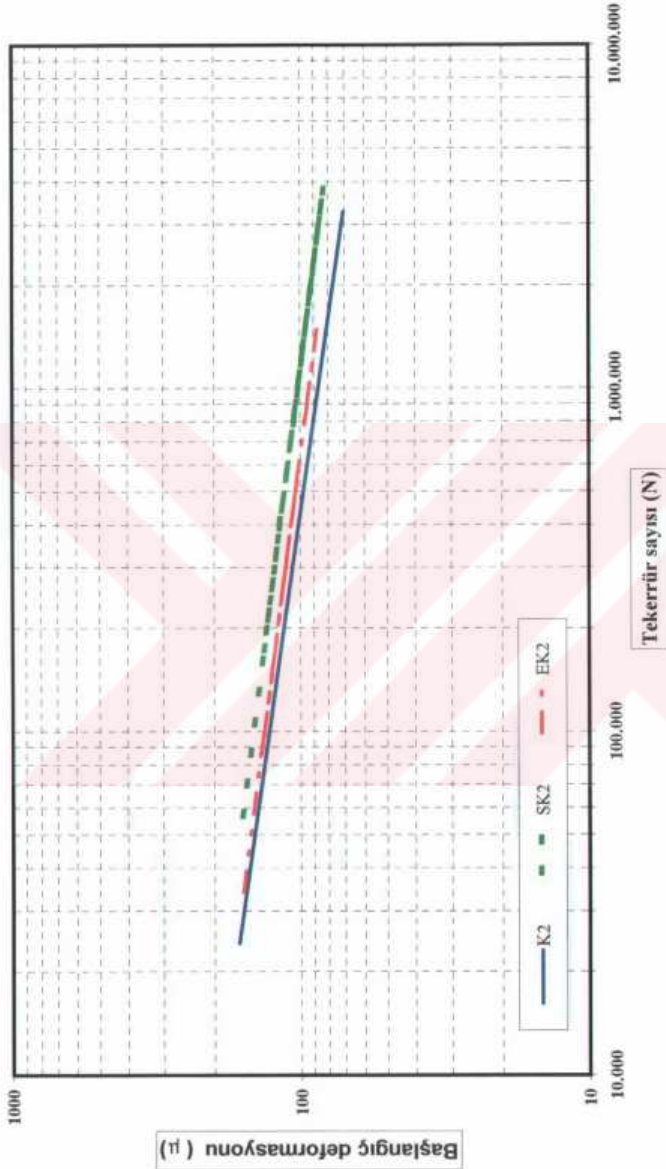
- K deformasyonu, yorulma için uygulanan yük miktarının etkisine karar verir.
- "a" bir güç faktörüdür ki, üstyapı dizaynında standart dingil yükü sayısının belirlenmesi için kullanılan yük eşitliği esasından belirlenir.

+ 15 °C' de yapılan yorulma deneyinin sonuçları Şekil 6.32, 6.33, 6.34, ve 6.35'de gösterilmiştir.

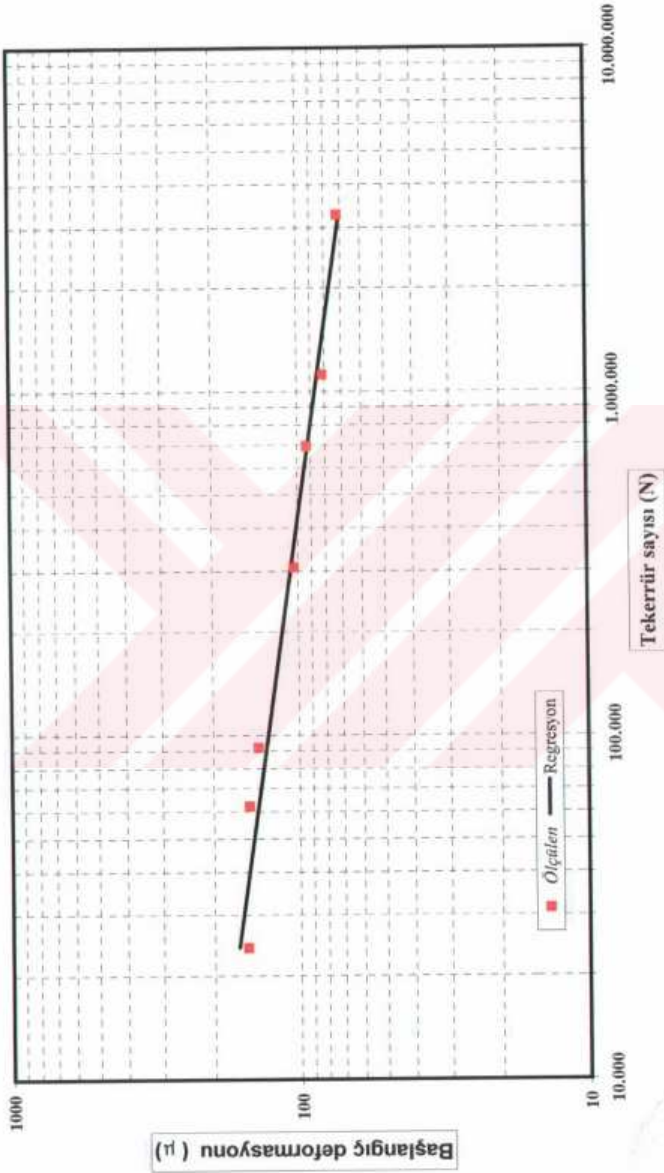
Çizelge 6.10 Karışımların yorulma sonuçları

Karışım	Numune No.	ϵ_i Başlangıç defor. (μ)	Tekerrür sayısı (N)	[E*] 15 °C - 30 Hz. (Mpa)
K2	1	152.1	24116	14231
	2	81.5	1121620	13835
	3	92.5	695572	13728
	4	103.4	308644	13893
	5	138.7	92276	14296
	6	149.7	62212	12429
SK2	12	71.8	3273188	12429
	1	158.2	56644	14086
	2	85.5	3827220	13640
	3	147.3	158036	14317
	5	135.1	218740	14548
	6	107.1	453268	14746
EK2	11	87.6	3368084	12834
	12	97.4	782868	14647
	1	154.6	34100	14525
	3	143.6	86276	15981
	4	103.4	518836	14417
	5	136.3	96932	17663
	6	92.5	1479108	16676
	14	86.4	1037876	13125
	15	116.8	223396	14289

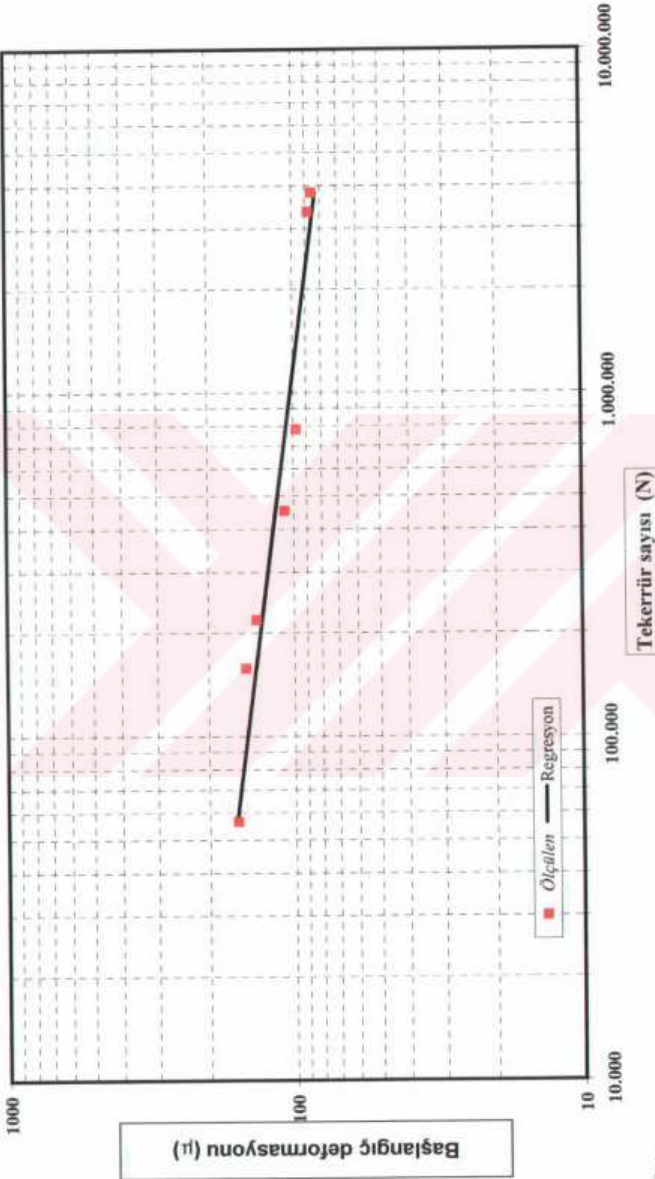
Karışım	Eğim a	K Faktörü	$\epsilon_i 1e^6$ Tekerrür (μ)	Korolasyon Faktörü	Standart Sapma	[E*] 15 °C-30 Hz. (Mpa)
K2	0.172	931.81	86.7	0.969	1.060	13750
SK2	0.157	889.83	102.3	0.940	1.071	14117
EK2	0.158	831.12	93.17	0.964	1.047	15239



Şekil 6.32 K2, SK2 ve EK2 karışımlarının yorulma eğrilerinin karşılaştırılması ($T=15^{\circ}\text{C}$ ve $f=30\text{ Hz}$)

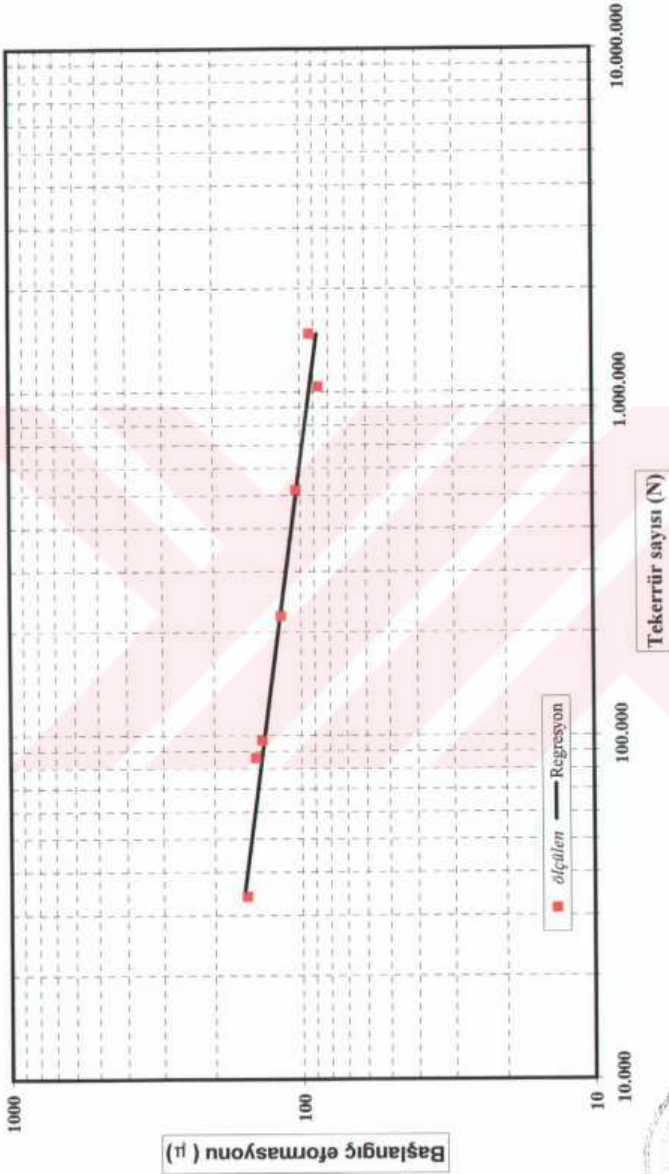


Şekil 6.33 K2 karışımının yorulma eğrisi (T=15 °C ve f=30 Hz)

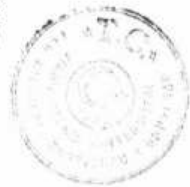


Şekil 6.34 SK2 karışımının yorulma eğrisi ($T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $f=30\text{ Hz}$)





Şekil 6.35 EK2 karışımın yorulma eğrisi ($T=15^{\circ}\text{C}$ ve $f=30\text{ Hz}$)



6.5 Yorulma Eğrisi Tahmin Modeli

Bu çalışmada, aynı agrega ve agrega dizaynında bir değişiklik yapılmadan, karışımın yorulma eğrisinin tahminine yönelik bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu amaçla karışımın yorulma ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahip olan bağlayıcının çeşitli özellikleri ile yorulma denklemi arasında bir ilişkinin var olabileceği düşüncesinden hareketle, bağlayıcının Penetrasyon, Yumuşama Noktası ve Asfaltın Yüzdesine bağlı olarak bir yorulma denklemi modeli kurulmuştur. Modelin kurulmasında, bu çalışmada değerlendirilen B2, SB2 ve EB2 bağlayıcıları ile hazırlanan K2, SK2 ve EK2 karışımlarına BRRC laboratuvarlarında yapılan Trapezoidal Yorulma Deneylerinden elde edilen yorulma eğrileri ve bağlayıcıya uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Ayrıca, KY1 ve KY2 olarak isimlendirilen bağlayıcılara ait modelde kullanılan deney sonuçları aynı laboratuvar da daha önceden yapılmış olan çalışmalardan alınmıştır. Modelin kurulmasında kullanılan değerler Çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 Modelde kullanılan bağlayıcı ve karışıma ait bazı karakteristikler

Karışım	Yorulma Denklemi Katsayıları		Bağlayıcı Karakteristikleri		
	Üssel Katsayı (a)	Çarpan Katsayı (K)	Penetrasyon (P)	Yumuşama Noktası (Y)	Asfaltın Yüzdesi (AS)
B2	0,172	931,81	65	49,5	9,40
SB2	0,157	889,83	50	62,0	8,70
EB2	0,158	831,12	48	70,5	11,21
KY1	0,142	789,50	52	61,0	9,30
KY2	0,167	901,40	61	65,5	9,82

$\epsilon = K * N^a$ yorulma denklemi ile bağlayıcı karakteristikleri arasındaki ilişkiyi bulmak amacıyla, a ve K katsayılarını bağlayıcı karakteristiğine göre ifade eden aşağıdaki bağıntılarda yer alan katsayılar katlı regresyon analizi yapılarak bulunmuştur.



Bu bağıntıların bulunmasında çeşitli istatistiki değerlendirme çalışmalarında kullanılan STORM adlı yazılımdan yararlanılmıştır.

$$a = C_a + A_a * P + B_a * Y + D_a * AS$$

$$K = C_k + A_k * P + B_k * Y + D_k * AS$$

A = Yorulma eğrisi eğimi,

C_a, A_a, B_a, D_a = Yorulma eğrisi eğimi denklemi katsayıları,

P = Penetrasyon,

Y = Yumuşama Noktası,

AS = Asfaltın Yüzdesi,

K = Yorulma eğrisi çarpanı,

C_k, A_k, B_k, D_k = Yorulma eğrisi çarpanı denklemi katsayılarıdır.

Yapılan katlı regresyon analizi sonucunda bağıntılar,

$$a = 0,050 + 0,001303 * P + 0,000116 * Y + 0,003103 * AS$$

$$K = 591,45463 + 5,896133 * P + 0,848382 * Y + 10,370951 * AS$$

olarak bulunmuştur.

Bu bağıntılarda; $\varepsilon = K * N^a$ bağıntısında yer alan a üssel ve K çarpan katsayılarının bulunmasında yararlanılan bağıntı ile gerçek değerler arasında a için $r^2=0,60$ ve K için ise $r^2=0,53$ 'lük bir korelasyon bulunduğu hesaplanmıştır.

Bu sonuca göre gerçek a_g ve hesaplanan a_h 'lar arasındaki ilişkiyi göstermek amacıyla Şekil 6.36 ve gerçek K_g ile hesaplanan K_h arasındaki ilişkiyi göstermek için ise Şekil 6.37 çizilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi eğer gerçek ve hesaplanan değerler arasında tam bir ilişki olsaydı tüm değerler şekillerde çizilen 1 diyagonal çizgisi üzerinde yer alacaktı, ancak burada değerler diyagonal çizgiye alt ve üst bölgelerde belirli uzaklıklarda bulunmaktadır. Bu aşama için bu derece bir yakınsaklığın (a için $r^2=0,60$ ve K için ise

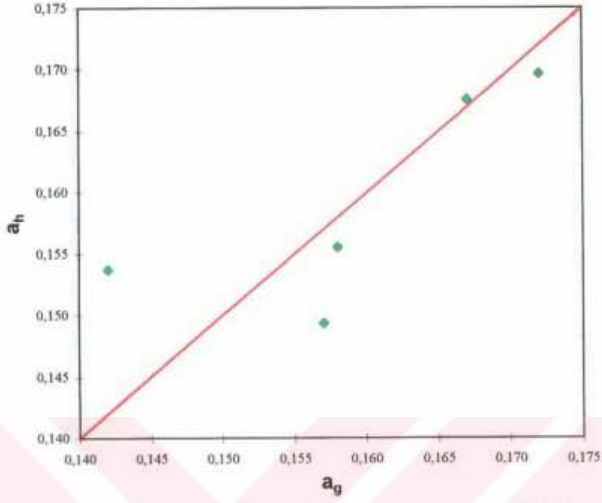
$r^2=0,53$) bulunması yeterli görülmekle birlikte, daha sonrası için yapılacak çalışmalarda numune sayısının artırılıp karışım ve agregaya ait özelliklerin de denkleme ilave edilmesi ile daha yüksek korelasyon değerleri bulunabilecektir. Regresyon denkleminde ve gerçek yorulma denklemleri Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12 Regresyon ve gerçek yorulma denklemleri

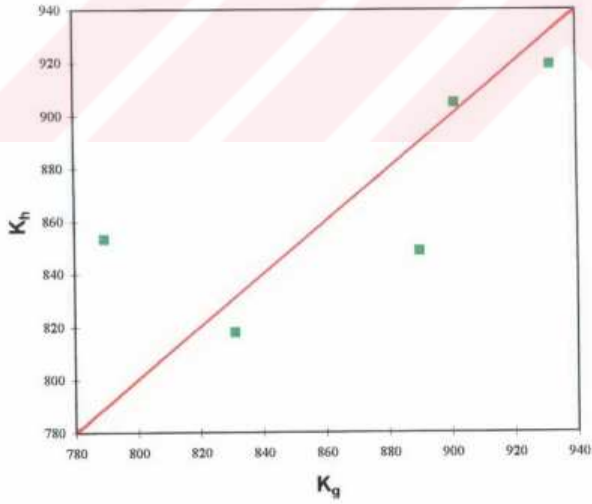
Karışım	Denklemler	
	Gerçek	Hesaplanan
B2	$\epsilon = 931,81 * N^{-0,172}$	$\epsilon = 919,15 * N^{-0,170}$
SB2	$\epsilon = 889,83 * N^{-0,157}$	$\epsilon = 848,58 * N^{-0,149}$
EB2	$\epsilon = 831,12 * N^{-0,158}$	$\epsilon = 817,96 * N^{-0,156}$

Regresyon denkleminde ve laboratuvar çalışmaları neticesinden elde edilen gerçek denklemler B2 için Şekil 6.38, SB2 için Şekil 6.39 ve EB2 için ise Şekil 6.40'da verilmiştir.



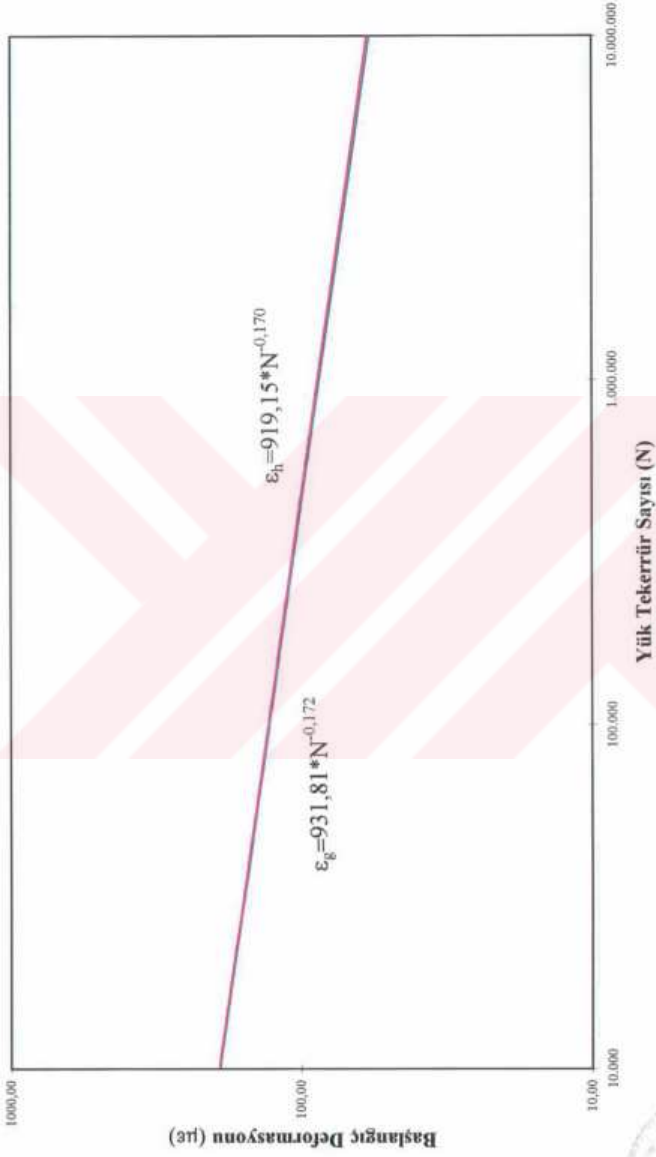


Şekil 6.36 Model ve gerçek a katsayıları arasındaki ilişki



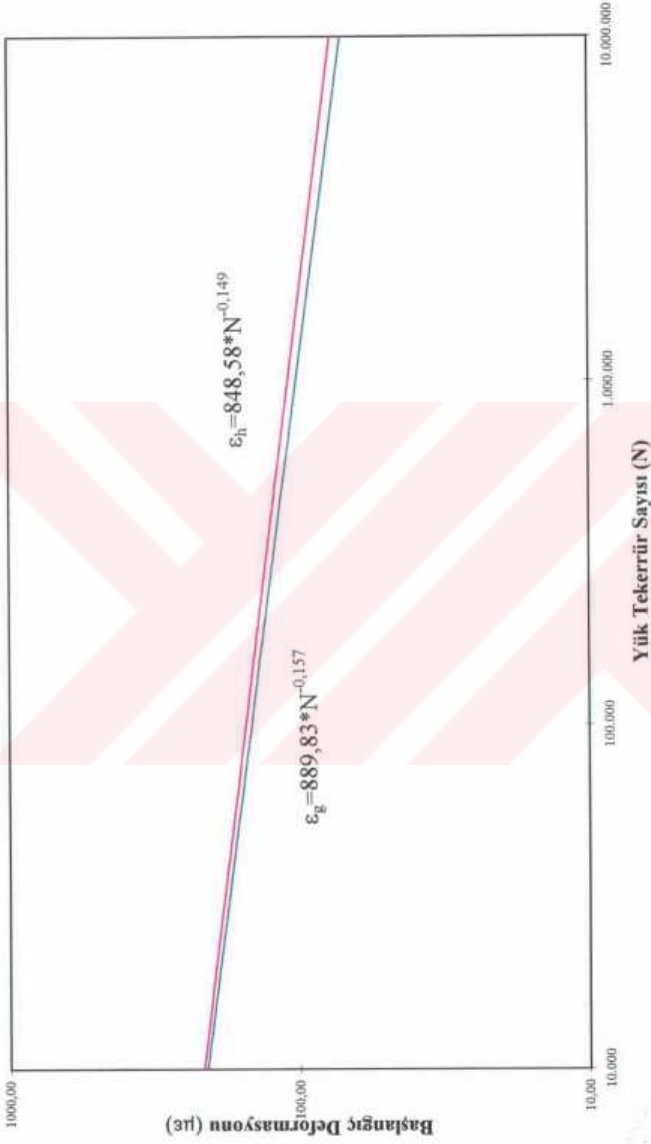
Şekil 6.37 Model ve gerçek K katsayıları arasındaki ilişki





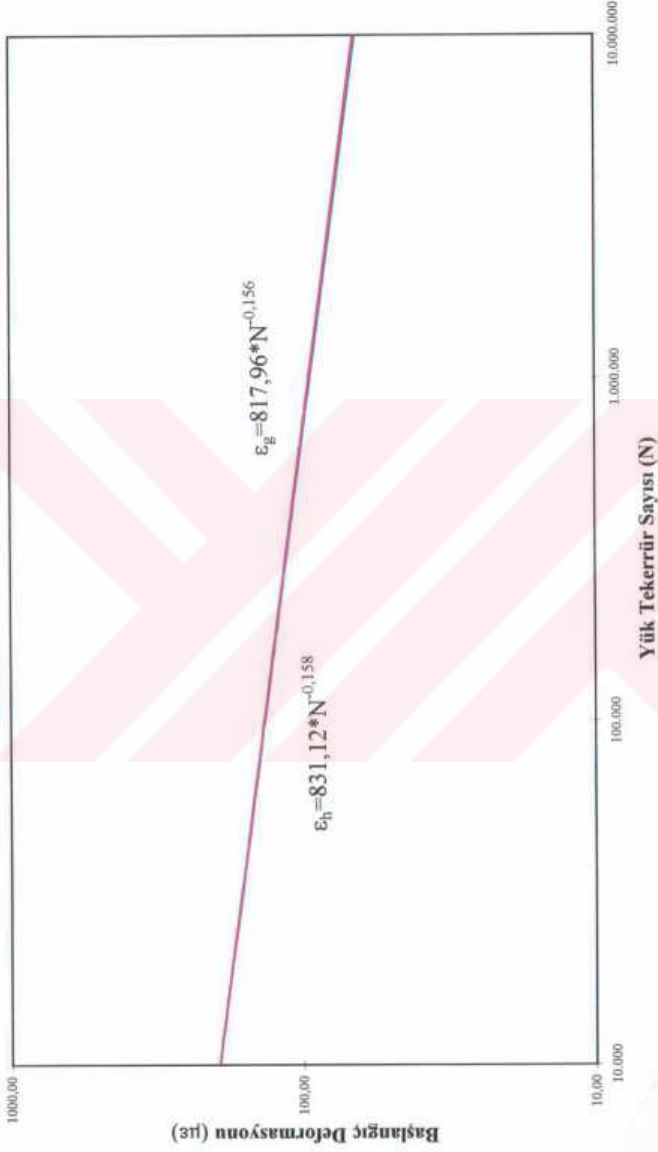
Şekil 6.38 B2 Bağlayıcısı ile Üretilen Karışımın Deneysel ve Hesapla Elde Edilen Yorulma Eğrileri





Şekil 6.39 SB2 Bağlayıcısı ile Üretilen Karşının Deneysel ve Hesapla Elde Edilen Yorulma Eğrileri





Şekil 6.40 EB2 Bağlayıcısı ile Üretilen Karışımın Deneysel ve Hesapla Elde Edilen Yorulma Eğrileri



BÖLÜM 7

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma sırasında literatürlerden ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bilgiler ve oluşturulan yorulma eğrisi tahmin modeline göre elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

1- K1 (Katkısız bağlayıcı) ve SK1 (SBS katkılı bağlayıcı) karışımların Elastik Modül-Sıcaklık ilişkilerine göre; SBS katkılı bağlayıcı karışımın elastik modülü özellikle düşük sıcaklıklarda (5, 25 °C) katkısız bağlayıcı karışımlardan daha yüksek çıkmıştır. Buna göre SK1 modifiyeli karışım düşük sıcaklıklardaki ısıl ve yorulma çatlaklarına karşı daha dirençlidir.

Aynı iki karışımın elastik deformasyon sıcaklık ilişkilerine göre de, özellikle yüksek sıcaklıklarda SK1 karışımlarında deformasyonların daha düşük olduğu, buna göre de yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan tekerlek izi oluşumlarına karşı daha dayanıklı oldukları görülmektedir.

2- B2 (65 pen bitüm) katkısız bitümünün % 3.5 SBS katkısı ile modifiye edildiği SB1 ve % 5 EVA katkısı ile modifiye edildiği EB2 bağlayıcılarının ölçülen test sonuçlarına göre yapılan sıralamaları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Bu sıralama yapılırken, başlangıç değerlerinde deney sonucunda elde edilen veriler, RTFOT ve BRRC deneyleri sonrasında elde edilen değerlere göre yapılan sıralamada ise başlangıçta sahip oldukları özelliklerini koruma oranlarına (Çizelge 6.3) bağlı olarak bir sıralama yöntemi izlenmiştir.

Çizelge 7.1 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının test sonuçlarına göre sıralaması

Deney Adı	Bağlayıcılar		
	B2	SB2 (B2 + % 3.5 SBS)	EB2 (B2 + % 5 EVA)
Başlangıç Değerlerine Göre Sıralama			
Penetrasyon	3	2	1
Yumuşama Noktası	3	2	1
Asfaltın Yüzdesi	2	1	3
Elastik Geri Dönüş	3	1	2
TOPLAM	11	6	7
RTFOT Sonrası Karşılaştırma Sonucuna Göre			
Penetrasyon	2	1	3
Yumuşama Noktası	3	1	2
Asfaltın Yüzdesi	2	3	1
TOPLAM	7	5	6
BRRC Sonrası Karşılaştırma Sonucuna Göre			
Penetrasyon	3	1	2
Yumuşama Noktası	3	2	1
Asfaltın Yüzdesi	2	2	1
Elastik Geri Dönüş	2	1	3
TOPLAM	10	6	7
GENEL TOPLAM	28	17	20

Bu çizelgenin incelenmesinden de görülebileceği gibi SBS ile modifiye edilmiş olan SB2 bağlayıcısı tüm yapılan değerlendirmeler sonucuna göre en iyi performansı sergilemektedir. Bu sıralama da ikinci olarak ise EVA ile modifiye edilmiş olan EB2 bağlayıcısı gelmektedir. Aynı bağlayıcıların KGM modifiye bitüm şartnamesi test limitlerine (Çizelge 3.9) göre de bir değerlendirmesi yapılarak Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2 B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının KGM modifiye bitüm şartnamesi test limitlerine göre değerlendirmesi

Deney	KGM Şartname Limitleri				Bağlayıcılara Karşılık Gelen Tipler		
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	B2	SB2	EB2
Penetrasyon dmm Min.	20	20	40	60	Tip 1,2,3,4	Tip 1,2,3	Tip 1,2,3
Yumuşama Noktası °C Min.	65	65	55	45	Tip 4	Tip 3,4	Tip 1,2,3,4
Ozgül Ağırlık	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	1.0-1.1	Tip 1,2,3,4	Tip 1,2,3,4	Tip 1,2,3,4
RTFOT kalıntısı üzerinde							
Yum.Nok.daki Değişiklik							
Artış °C maks.	6.5	6.5	6.5	6.5	Tip 1,2,3,4	Tip 1,2,3,4	Tip 1,2,3,4
Azalış °C maks.	2.0	2.0	2.0	2.0			
SONUÇ					Tip 4	Tip 3	Tip 2,3,4



Bu değerlendirmeye göre de; B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarından EB2 Tip 1,2 ve 3'ü sağlamakta olup Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü bölgelerde, Güneydoğu Anadolu'da Karadeniz, Marmara, İç Anadolu İç Batı Anadolu ve Doğu Anadolu'nun Batı kesimlerinde, SB2 bağlayıcısı Tip 3'ü sağlamakta olup Karadeniz, Marmara, İç Anadolu, İç Batı Anadolu, Güneydoğu Anadolu'nun Kuzey kesimlerinde ve Doğu Anadolu'nun Batı kesimlerinde ve B2 bağlayıcısı ise modifiye bir bağlayıcı olmamasına rağmen Tip 4'ü sağlamakta olup Doğu Anadolu'nun diğer kesimlerinde kullanılabilir.

BRRC yaşlanması öncesi ve sonrası için B2, SB2 ve EB2 bağlayıcılarının sıcaklık, frekans ve faz açısının elastisite modülleri ile değişimini göstermek amacıyla Çizelge 7.3, 7.4, 7.5 ve 7.6 hazırlanmıştır.

Çizelge 7.3 Yaşlanma öncesi sıcaklık, frekans değişimleri-Young (Kayma) Modülü (E*),
Faz açısı değerleri

Sıcaklık	Frekans Hz	E (MPa) (10 ⁴)			φ (°)		
		B2	SB2	EB2	B2	SB2	EB2
25 °C	5	540	720	669	66.3	60.2	56.6
	25	1720	2070	1840	60.0	55.4	54.0
	50	2590	3140	2740	57.9	53.0	52.1
0 °C	5	26100	26600	26900	33.2	30.4	33.5
	25	44500	43600	47500	26.2	24.1	26.8
	50	53300	51900	57500	23.2	21.7	24.2
-25 °C	5	167000	156000	198000	3.89	4.82	3.61
	25	178000	168000	209000	2.77	4.25	2.59
	50	182000	174000	213000	2.36	4.04	2.30

Çizelge 7.4 Yaşlanma öncesi sıcaklık, frekans değişimleri-Dairesel Kayma Modülü (G*),
Faz açısı değerleri

Sıcaklık	Frekans Hz	G (MPa) (10 ⁴)			φ (°)		
		B2	SB2	EB2	B2	SB2	EB2
25 °C	5	268	341	280	66.1	60.2	56.3
	25	823	960	781	57.1	54.5	53.2
	50	1260	1460	1200	53.0	51.7	50.6
45 °C	5	9.56	15.8	22.1	79.1	69.0	62.0
	25	39.0	54.7	60.5	75.7	68.3	62.6
	50	69.1	92.3	95.4	74.5	67.6	62.0
60 °C	5	1.16	2.57	25.7	85.2	70.0	63.7
	25	4.92	9.02	13.7	78.5	68.1	65.5
	50	8.62	15.2	17.7	79.3	69.2	65.1

Çizelge 7.5 Yaşlanma sonrası sıcaklık, frekans değişimleri-Young (Kayma) Modülü (E^*), Faz açısı değerleri

Sıcaklık	Frekans Hz	E (MPa) (10^4)			φ (°)		
		B2	SB2	EB2	B2	SB2	EB2
25 °C	5	2130	2780	3570	50.3	44.4	37.6
	25	4770	5730	6790	45.9	40.4	34.3
	50	6460	7800	8730	44.0	38.9	32.9
0 °C	5	45000	43100	40000	24.1	20.8	20.2
	25	66900	59000	57700	19.7	17.3	17.8
	50	78200	67500	65400	17.8	15.7	16.8
-25 °C	5	204000	166000	185000	3.42	3.30	4.26
	25	215000	175000	198000	2.58	2.90	3.17
	50	220000	179000	204000	2.27	2.79	2.76

Çizelge 7.6 Yaşlanma sonrası sıcaklık, frekans değişimleri-Dairesel Kayma Modülü (G^*), Faz açısı değerleri

Sıcaklık	Frekans Hz	G (MPa) (10^4)			φ (°)		
		B2	SB2	EB2	B2	SB2	EB2
25 °C	5	1030	757	1770	45.7	47.7	33.9
	25	2220	1710	2980	38.0	41.4	29.6
	50	2940	2360	3750	34.2	38.2	27.3
45 °C	5	106	807	163	33.8	60.2	51.4
	25	230	236	395	51.0	57.0	48.1
	50	356	358	560	50.1	55.3	46.6
60 °C	5	10.3	11.7	21.5	66.7	64.3	60.1
	25	84.5	37.2	63.2	19.9	63.3	58.2
	50	89.4	59.5	97.4	47.6	63.0	57.1

Bu sonuçlara göre de, en büyük modül değerleri EB2 bağlayıcısında elde edilmekte olup EB2 bağlayıcısının elastiklik özelliklerinin daha iyi olduğu, özellikle düşük sıcaklıklardaki çatlamalara ve dağılmalara karşı daha dayanıklı olacağı anlaşılmaktadır.

Düşük sıcaklıklarda bağlayıcının özelliğini tespit amacıyla bağlayıcıların Elastisite modülleri tespit edilmiştir, elastisite modüllerine ait çizelgelerin incelenmesinden EB2 bağlayıcısının başlangıçtaki özelliklerini koruyarak daha iyi bir performans gösterdiği anlaşılmaktadır. EB2 bağlayıcısının düşük sıcaklıklardaki kayma modülünde diğer bağlayıcıların tersine yaklaşık % 5'lik bir azalma olmuştur.



3- K2 katkısız bitümlü karışımı ile SK2 ve EK2 katkılı bitümlü karışımlarının kompleks modülü sonuçlarına göre düşük sıcaklıklarda her iki modifiye bitümlü karışımında daha yüksek modül değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

K2, SK2 ve EK2 karışımlarının 15 °C sıcaklık ve 30 Hz frekansta. sinüzoidal yüklem altında yapılan yorulma deneylerine ait bazı bilgiler Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7 Karışımların yorulma ömürlerine ait bazı bilgiler

Karışım	Yorulma Denklemi Eğimi	100 µε'lık İlk deformasyonu için karışım ömürleri
K2	0.172	432,140
SK2	0.157	1,113,120
EK2	0.156	709,327

Çizelgeden de görüldüğü gibi her iki katkılı karışımın da yorulma ömürleri katkısız karışıma göre daha fazla olup, SK2 (SBS katkılı) karışımının yorulma ömrü EK2 (EVA katkılı)'ye göre daha uzundur.

4- Yorulma eğrisi tahmin modelinde, yorulma denklemi eğim katsayısı (a) için %60 ve çarpan katsayısı (K) için ise %53'lük bir korelasyon elde edilmiştir. Daha sonra buna benzer olarak yapılacak çalışmalarda kurulan modelin içerisine karışıma ait bileşenlerden olan agregaya ait parametrelerinde ilave edilerek bir modelin kurulması ile korelasyon değerleri artırılıp, yorulma eğrisi denklemi daha yüksek yakınsaklıklarda elde edilebilecektir.

5-Tezin literatür ve laboratuvar çalışmalarından, modifiye bitümlü bağlayıcıların karayolu üstyapılarında karşılaşılan tekerlek izi, ondülasyon, ötelenme, çatlama, soyulma gibi trafik ve iklim koşullarına göre bağlı olarak meydana gelen bozulmalara karşı çözüm oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Ancak iklim ve trafik koşullarına bağlı olarak söz konusu sorunların öncelik sıralarının iyi etüt edilmesi ve buna göre doğru katkı maddelerinin seçilmesi gerekmektedir. Bunun içinde gelişmiş test yöntemlerinin ülkemizin ilgili kuruluşlarınca sağlanması ve modifiye bitümün özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.



Ayrıca, modifiye bitümlerin katkısız bitüm fiyatlarını yaklaşık iki katına çıkardığı bilindiğinden, modifiye bitümlü bağlayıcıların kullanılması gerekli karışımları ve kullanım yerleri aşağıdaki şekilde önerilmektedir.

Zorunlu olarak modifiye bitüm kullanılması gerekli ;

- karışımlar;
 - Geçirimli kaplamalar,
 - Stone Mastic Asphalt (SMA),
 - Çeşitli yüzey kaplamalar (Slurry Seal, Macro Seal, vs).

- yol kesimleri;
 - Kavşaklar,
 - Yoğun trafikli şehir içi yollar,
 - Otobüs durakları,
 - Kamyon park sahaları,
 - Tüneller,
 - Yoğun otoyollar,
 - Havaalanları,
 - Yenileme ve tamir çalışmaları,
 - Özel yüzeyler,
 - Daha ince tabakalar,
 - Ağır trafikli yollarda yapılacak kaplamalar,
 - Tırmanma şeritleri ve
 - Ara tabakalarda gerilme emen mebranlardır.



KAYNAKLAR:

- Anderson, D.A. ve Kennedy, T.W., (1993), Development of the SHRP Binder Specification; Proceedings of the Association of Asphalt paving Technologists, Vol.62
- Aray, S., (1997), KGM'de 19 Aralıkta yapılan Sempozyum Notları, Ankara.
- Bel, C.A, Weder, A.J., Fellin, M.J., (1994), Laboratory Aging of Asphalt Aggregate Mixtures: Field Validation, SHRP-A-390
- Berenguer, B., (1988), Significant Methods Based on Traditional Tests or Based on Modern Mechanical or Rheological Tests, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia.
- Cawsey, D.C., ve Wong, C.S., (1991), Improvement of Bitumen-Aggregate Adhesion by the use of Additives, Chemistry of Bitumens, Volume II, International Symposium, June 5-8, Rome, Italy, s.597-626.
- Coplantz, J.S., Yapp, M.J., ve Finn, F.N., (1993) Review of Relationships Between Modified Asphalt Properties and Pavement Performance, SHRP-A-631, National Research Council, Washington, D.C.
- Çakıroğlu, M., (1996), Yol Esnek Üstyapıda Oluşan Bozulmalar, 1.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 19-20 Aralık, İstanbul.
- Çelik, O.N., (1996), Otomobil Lastiği ile Modifiye Edilmiş Asfaltın Dinamik Reolojik Analizi, 1.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 19-20 Aralık, İstanbul.
- Dinnen, A., (1985), Bitumen-Thermoplastic Rubber Blends in Road Applications, Proceedings of 3 rd Eurobitume Symposium, Hague, Vol.I.
- Downes, J.W., (1986), Modified Binders to the Year 2000, 6 th. International Asphalt Conference, Sydney, Australia.
- European Standard, (1996), Test reference number:2.1, Tc 227 work item 00227130, second WG 1-draft.
- Francken, L., (1997), Bituminous Binders and Mixtures, State of the Art and Interlaboratory test on Mechanical Behavior and Mix Design, RILEM REPORT 17.
- Francken, L. ve Benedetto, H., (1997), Mechanical Tests For Bituminous Materials, Proceedings the Fifth International RILEM Symposium, MTBM, Lyon 97, France, 14-16 May 1997 s. 217-224



- Goodrich, J.L., Goodrich, J.E ve Kori, W.J., (1986), Asphalt Composition Tests: Their Application and Relation to Field Performance, Transportation Research Record 1096, TRB, National Research Council, Washington, D.C., s. 146-167.
- Hall, C., (1985), Polymer Materials, Higher ant Further Education Division, Macmillan Publishers Ltd.
- Isacsson, U., ve Lu, X., (1995), A Compilation of Test Methods and Specifications of Polymer Modified Bitumens For Road Applications, TRITA-IP AR 95-26, Royal Insitute of Tecnology, Sweden.
- Jung, D.H., ve Vinson, T.S., (1994), Low-Temperature Cracking: Binder Validation, SHRP-A-399, National Research Council, Washington, D.C..
- KAV, (1992), Asfalt Kitapları, Bitüm Emülsyonları ve Yoldaki Uygulamaları.
- Keçeciler, A.F., Gümrükçüoğlu, A., Akkol, G., ve Gökçe, A.F., (1988), Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, KGM Yayın No:239
- Keyvankloğlu, N., (1996), Köprüler ve Viyadüklerde Kullanılan Modifiye Asfalt Bazlı Yalıtım Örtüsü, 1.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 19-20 Aralık, İstanbul.
- KGM, (1997), Modifiye Bitüm Özel Teknik Şartnamesi.
- Leahy, R.B., Harrigan, E.T., ve Quintus, H.V., (1997), Validation of Relationships Between Spectpication Properties and Performance, SHRP-A-409, National Research Council, Washington, D.C..
- Malkoç, G., Güngör, N., ve Dumanlılar, N., (1996), Çeşitli Katkı maddeleri ile Modifiye Edilen Asfalt Çimentolarının Özelliklerindeki Değişmeler, 1.Ulusal Asfalt Sempozyumu, 19-20 Aralık, İstanbul.
- Malkoç, G., (1997), KGM'de 19 Aralıkta yapılan Sempozyum Notları, Ankara.
- Molenaar, J.M.M., (1991), Polymer Modified Bitumens-Functional Properties and Quality Aspects, Proceedings of International Symposium on Chemistry of Bitumens, Rome, Vol.II, s 860-886
- Morgan, P., ve Mulder, A., (1995), The Shell Bitumen Industial Handbook.
- Önal, M.A., Kahramangil, M., (1993), Bitümlü karışımlar laboratuvar el kitabı, KGM s. 166-173
- Önal, M.A., (1997), KGM'de 19 Aralıkta yapılan Sempozyum Notları, Ankara.

- Petersen, J.C., Robertson, R.E., Branthover, J.F., Harnsberger, P.M., Duvall, J.J., Kim, S.S., Anderson, D.A., Christiansen, D.W., Bahia, H.U., Dongre, R., Antle, C.E., Sharma, M.G., Button, J.W., ve Glover, C.J., (1994), Binder Characterization and Evaluation, Vol.4: Test Methods, SHRP-A-370, National Research Council, Washington, D.C.
- Que, G., Liang, W., Chen, Y., Liu, C., ve Zhang, Y., (1991), Relationship Between Chemical Composition and Performance of Paving Asphalt, Chemistry of Bitumens, Volume II, International Symposium, June 5-8, Rome, Italy, s.517-527.
- Ramond, G., Pastor, M., ve Such, C., (1993), Determination of Performance of ABinderFrom its Complex Modulus, Proceedings of 5 th. Eurobitume Congress, Stockholm, Vol.IA, s.81-85.
- Ruud, O.E., (1988), Polymer Modified Bitumen for Road Construction, A Nordic Evaluation, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia.
- SHRP-A-398, (1994), Stage 1, Validation of the Relationship Between Asphalt Properties and Asphalt-Aggregate Mix Performance, National Research Council, Washington, D.C.
- Terrel, R.L., ve Epps, J.A., (1989 a), Using Additives and Modifiers in Hot Mix Asphalt (Part A), NAPA-QIP 114.
- Terrel, R.L., ve Epps, J.A., (1989 b), Using Additives and Modifiers in Hot Mix Asphalt (Part, B,C,D,E), NAPA-QIP 114.
- Thyryon, F., Cogneau, P.ve Zwijsen, M., (1991), Method for the Evaluation of Bitumens Based on the characteristics of Bitumen-Polymer Mixes, Proceedings of International Symposium on Chemistry of Bitumen, Rome, Italy, Vol.II, s.969-999.
- Uluçaylı, M., (1997), KGM'de 19 Aralıkta yapılan Sempozyum Notları, Ankara.
- Ürünay, N., (1974), Bitüm ve Bitümlü Yalıtım Örtüleri; Ankara.
- Valero, L., (1988) Production Control and Reception Control of Polymer-Bitumens Either For Waterproofing or For Road Construction, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia.
- Valkering, C.P., Vonk, W.C., ve Whiteoak, C.D., (1992), Improved Asphalt Properties Using SBS Modified Bitumens, Shell Bitumen Review 66.
- Verburg, H.A. ve Molenaar, J.M.M., (1991), Force-Ductility Test for Specification of Polymer Modified Bitumen, Proceedings of International Symposium on Chemistry of Bitumen, Rome, Vol.II, s.922-931.
- Verhasselt, A.F.ve Choquet, F.S., (1991), A New Approach to studying the Kinetics of Bitumen Ageing, Chemistry of Bitumens, International Symposium, June 5-8, Rome, s.686-705.

Whiteoak, D., (1991), The Shell Bitumen Handbook.

Yağız, F., Işıkarslan, C.Keçeciler, A.F., ve Akkol, G., (1967), Bitümlü Malzemeler, T.C.Bayındırlık Bakanlığı KGM-Y N.149.



EK - 1

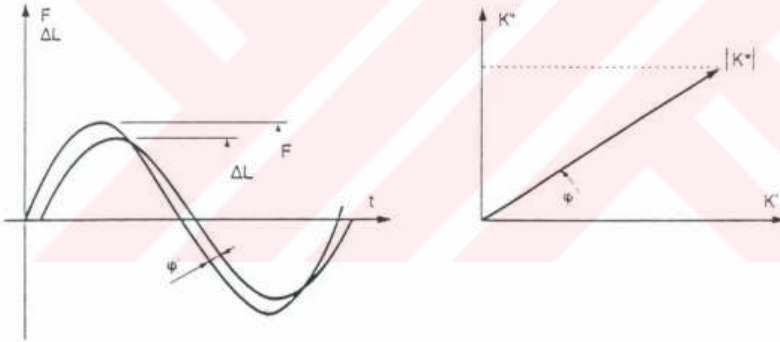
BAĞLAYICILARIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ (REOLOJİK TEST) PROSEDÜRÜ (BRRC, 1997)

1. Deney prensibi

Viskoanalizer, bir viskoelastik numunenin kompleks sertliğini ölçmek için dizayn edilmiştir. Ayrıca, polimerler, bitüm ürünleri vs. gibi katı, plastik ve sıvı haldeki çeşitli materyallerin dinamik karakteristiklerinin (Young modülü, Kayma modülü, Rutubet faktörü, Dinamik viskozite) belirlenmesinde de kullanılabilir.

Dört parametre değişken olabilir, bunlar:

- frekans,
- sıcaklık,
- gerilme seviyesi,
- deformasyon seviyesi.



Şekil 1 Ölçme prensipleri: ϕ faz açısıyla, ΔL sapması (deplasmanı) ve F sinüzoidal yüklemesi

Bu yöntem, özellikle bitümlü bağlayıcıların elastik ve rutubet özelliklerindeki gelişmelerin ölçülmesi için uygundur. Ayrıca, bir polimerizasyon reaksiyonunun kinematikini sıralamak ve kontrol etmek için imkan verir.

Eğer, L boyundaki bir numunenin bir ucu sabitlenmişken diğer ucundaki deplasman (yada ivme) X (yada Y) ise, ve F , numuneye uygulanan bir $f = \frac{\omega}{2\pi}$ frekansı ile sinüzoidal yükleme (Bak Şekil 1) ise, şu ilişki vardır:

$$K^* = \frac{F}{X} = - \frac{F^2}{\gamma} \quad \text{yada}$$



$$K'(\omega) \left[1 + j\omega \left(\frac{C(\omega)}{K'(\omega)} \right) \right] = -F \frac{\omega^2}{\gamma}$$

X- daha düşük frekanslar için bir deplasman sensörüyle ölçülür.

γ - daha yüksek frekanslar için bir ivme sensörüyle ölçülür.

F- bir yük sensörüyle ölçülür; gerçekte numuneye aktarılan, ölçülen F_1 yüküdür. Bu, frekans dizisindeki F^* e oldukça benzerdir ve bu daima çok küçüktür ve ihmal edilir.

Düzenek materyalin faz açısını (yada "kayıbı") hesaplar (yük ve deplasman arasındaki faz farkı):

$$\delta(\omega) = \arctg\left(\frac{\omega C(\omega)}{K'(\omega)}\right)$$

ve numunenin kompleks sertlik modülü şu hesaplamayla mümkündür:

$$K = |K'| = \left| \frac{F}{X} \right|$$

- materyalin rutubet faktörü göz önünde tutulduğunda;

$$\beta(\omega) = \tg\delta(\omega)$$

- Kompleks elastik veya kayma modülünün gerçek parçası;

$$G' = \frac{1}{3} \cdot Ff \cdot \frac{L}{S} \cdot K' \cdot \cos \delta$$

$$E' = Ff \cdot \frac{L}{S} \cdot K' \cdot \cos \delta$$

Ff Şekil faktörüdür ki numune ve yükleme modu için hesaplamada kullanılır. Katı viskoelastik materyaller için;

$$Ff = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{Se}{Sl} \right)}$$

Burada:

Se - numunenin etkilenen kesit alanı

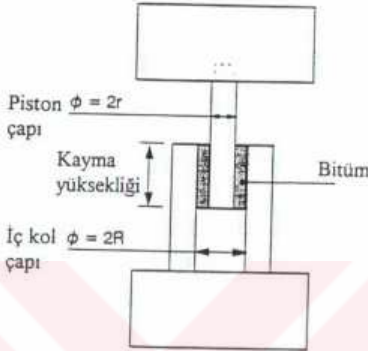
Sl - numunenin serbest yüzey alanı (genel olarak, Sl yanıl yüzey alan olarak alınır)



3. Numunenin Hazırlanması

3.1 Dairesel Makaslama, "A:S:"

Numune şekli ve ebatları:



CAR-OCW 19721

Şekil 4 Dairesel makaslama için numunenin şematik çizimi

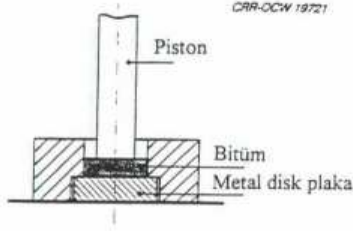
Numune geometrik özellikleri (Şekil 4) değiştirilebilir. İki piston çapı vardır. İç kol çapı $\phi = 2R$ (10 mm) ve yüksekliği (5 mm) olan kap testin uygulanması için her durumda sabitleştirilir.

Piston çapı $\phi = 2R$	Bağlayıcı filmi için mevcut boşluk
8 mm	1 mm
9 mm	0.5 mm

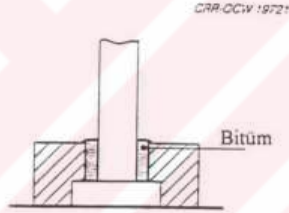
Malzeme sertliğine, test sıcaklığına ve yerleştirildiği basit kılcal hücrede kalabilme yeteneğine göre aşağıdaki şekilde kullanılır:

- $\phi = 8$ mm piston:
 - oldukça sert bir bağlayıcı için;
 - sıvı haldeyken kendi ağırlığı altında yığılmayan bir bağlayıcı için;
- $\phi = 9$ mm piston:
 - kristal safha başlangıcında düşük sertliğe sahip bir bağlayıcı için;
 - düşük viskozite safhasına doğru gidebilen bir bağlayıcı için.



Numune şekli

Şekil 5 Dairesel makaslama için bir numune yerleştirilmesi



Şekil 6 Dairesel makaslama ölçümü için hazırlanmış bir numune

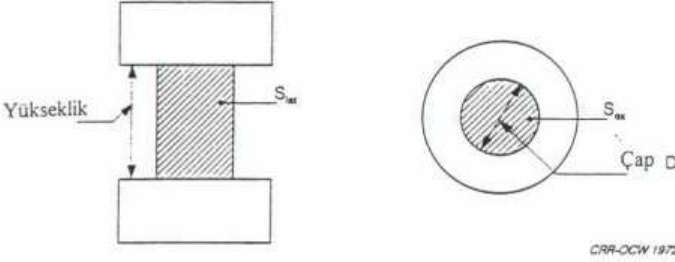
erimiş yada plastik haldeki bağlayıcının yerleştirme sırasında akmasına engel olmak için, metal disk tabakası (Şekil 5) üzerine bir miktar bağlayıcı sürülerek metal disk amacına uygun olarak kabın altından yatağına kaydırılır.

Makaslama için tam homojen bir halka elde edilmesi amacıyla, numune bağlayıcı, halka-küre yumuşama noktasının biraz üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Uygun sıcaklığa varıldığında, piston disk ve numune üzerine indirilerek test için istenilen şekil verilir.

3.2 Çekme Basınç “ T.C. “Numune Şekli ve boyutları

Numune Şekil 7’ de verildiği gibi bir silindirik şekle sahip olmalıdır.





Şekil 7 Çekme-Basınç için kullanılacak numunenin şematik çizimi.

Burada;

h ... numune yüksekliği,
 S_{ox} ... etkilenecek yüzey alanı, ve
 S_{yat} ... yan yüzey alanıdır.

$$S_{ox} = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

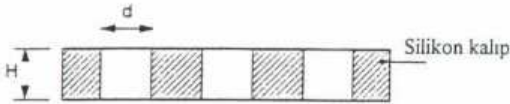
$$S_{yat} = \pi * d * h$$

Malzeme cinsine bağlı olarak, iki geometri kullanılır:

- $h = 18 \text{ mm}$, $d = 9 \text{ mm}$,
- $h = 16 \text{ mm}$, $d = 8 \text{ mm}$.

Numunenin şekillendirilmesi

Bağlayıcı karıştırma sıcaklığına kadar ısıtılarak kalıba (Bak şekil 8) dökülür.



Şekil 8 Çekme - basınç numunesi hazırlanmasında kullanılan silikon kalıp.

Kalıp 24 saat süreyle bir buzdolabına konulur. Sertleşmiş numune, test koluna yerleştirilmek için, kalıbından kolaylıkla çekip çıkarılabilir.

4. Ölçme Sisteminin İzahı :

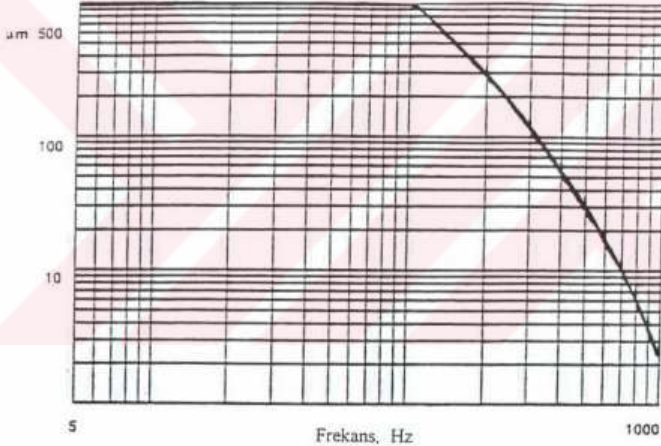
Uyarıcı bir elektrodinamik 100 - N makaslayıcıdır ki bir sinüs dalga jeneratörüyle sürülen bir güç amplifikatörü ile güçlendirilir.

Sensör: Alet üç sensör ile sabitleştirilir:

- Bir yük sensörü numune tutanağı ve mekanik ana bileşen arasına yerleştirilir;
- 125 ile 1000 Hz frekans dizisindeki deplasmanı ölçmek için, uyarı aksı üzerinde ölçme kolunu içine bir ivme ölçer yerleştirilir.
- Uyarı aksı ile paralelindeki bir deplasman sensörü, ölçme koluna hedeflenerek yönlendirilir.

Deplasman limiti

Şekil 9' da gösterildiği gibi, 500 μm zayıf ve azalan frekans ile maksimum dinamik deplasman ölçülebilir



Şekil 9 Frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum dinamik deplasman ölçme

4.3 Ölçme

İşaret koşulları ve kazanım uygun elektronik parçalarla performe edilir. İki yük işareti, deplasman ve ivme:

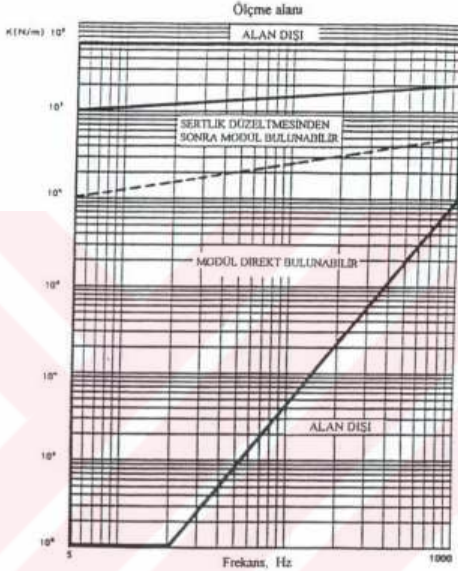
- güçlendirilir,
- süzülür,
- her periyotta dört defa aynı anda örneklenir.



Sertlik ölçme sırası

Şekil 10 Sertlik değerleri sırasını gösterir. Bu silsilenin sınırındaki ölçümler mümkündür, fakat güvenli olarak karar vermeye yeterli olmayabilir.

Eğer sertlik, sıcaklık yada frekanstaki bir değişimin akışı içerisindeki bu saha dışında geliirse, numune boyutları değiştirilmiş olur, öyle ki, ölçme silsilesine geri sertlik getirir.



Şekil 10 Alet ile ölçülebilen sertlik değerleri aralığı

4.4 Yöntem:

Bilgisayarlar ve programlar:

- frekans, deplasman, sıcaklık ve numune geometrisi gibi ölçme parametreleri kontrol edilir,
- benzer koşullar ünitesi ve entegral kart edinme doğrultusundaki ölçümler bilgisayarla kaydedilir,
- verilen bir frekans için test numunesinin kompleks sertliğini sağlamada karar verilmesi için, giriş işaretleri ve ölçülen işaretler arasında bir korelasyon tesis edilir,
- kompleks Young veya Colomb modülü ve testteki malzeme rutubeti hesaplanır,
- diyagramda veya tablolardaki hesaplanmış yada ölçülmüş farklı miktarlar temsil edilir,
- test edilen malzemenin reolojik davranışının teorik modeline izin verilir.

5. Test Koşulları

5.1 Kayma modülü, $|G^*|$

Koşullar

Test koşulları program (frekans, sıcaklık) taramasının belirlenmesine ve kontrol una (deplasman) ilişkilendirilir (sıcaklık: $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den $+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye; frekans: 5 Hz ' den 1.000 Hz ' e; deplasman: $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$ den $500\text{ }\mu\text{m}$ ye). Aşağıdaki standart şartlar bağlayıcı üzerinde kullanılır:

- Sıcaklık : $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' lik artışlarla;
- Frekans : 5 Hz den 50 Hz ye;
- deplasman : $5\mu\text{m}$ ' de kontrol edilir.

Performans

Her ön tanımlı sıcaklık ve frekansta, alet, yük ve deplasman işaretleri, bunların saha farklılıkları bilgisayarda listelenir ve hafızaya kaydedilir Bu sonuçlar aşağıdaki tabloda verilir. Bu tablodan teste kullanılan sıcaklık ve frekansın her bileşeni için ölçülmüş aşağıdaki değerler okunur:

- yükleme frekansı;
- kompleks kayma modülünün gerçek parçası, G' ;
- kompleks kayma modülünün izafi parçası, G'' ;
- kompleks kayma modülünün normu, G ;
- faz açısı, $\text{tg}\delta$.

Örnek : Numune referansı

Sıcaklık No	: 2
Başlama sıcaklığı	: $29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
Sıcaklık değişme oranı	: $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$
Sıcaklık dengeleme zamanı	: 10 dakika
Son sıcaklık	: $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Frekans (Hz)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Frekans (Hz)	G (Pa)	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\text{Tg}\delta$
5	2.99E+00	5.00E+00	1.10E+06	4.57E+06	1.01E+06	2.20E-00
0	3.03E+01	1.00E+01	1.78E+06	8.02E+06	1.39E+06	1.99E-00
15	3.01E+01	1.50E+01	2.38E+06	1.13E+06	2.09E+06	1.85E+00
20	2.96E+01	2.00E+01	2.96E+06	1.47E+06	2.57E+06	1.75E-00
25	3.01E+01	2.50E+01	3.38E+06	1.72E+06	2.91E+06	1.69E-00
30	3.03E+01	3.00E+01	3.76E+06	1.95E+06	3.21E+06	1.65E-00
35	3.01E+01	3.50E+01	4.15E+06	2.20E+06	3.52E+06	1.60E-00
40	2.97E+01	4.00E+01	4.62E+06	2.50E+06	3.89E+06	1.56E-00
45	2.99E+01	4.50E+01	4.97E+06	2.73E+06	4.16E+06	1.52E-00
50	3.01E+01	5.00E+01	5.27E+06	2.93E+06	4.38E+06	1.49E-00

5.2 Young modülü, $|E^*|$

Koşullar

Test koşulları sıcaklık aralığı hariç, $|G^*|$ kayma modülü için belirlenenle aynıdır. Aşağıdaki standart koşullar kullanılır.

- Sıcaklık : +25 °C'den -25 °C'ye 5 °C'lik düşüşlerle;
- frekans : 5 Hz' den 50 Hz'ye 20 ölçme noktası ile;
- deplasman : 5 μ m.de kontrol edilir.

Performans

Her ön tanımlı sıcaklık ve frekansta, alet, yük ve deplasman işaretleri, bunların saha farklılıkları bilgisayarda listelenir ve hafızaya kaydedilir Bu sonuçlar aşağıdaki tabloda verilir. Bu tablodan, testte kullanılan sıcaklık ve frekansın her bileşeni için ölçülmüş aşağıdaki değerler okunur.

- yükleme frekansı;
- kompleks Young modülünün gerçek parçası, E' ;
- kompleks Young modülünün izafi parçası, E'' ;
- kompleks Young modülünün normu, $|E^*|$;
- malzemenin faz açısı faktörü, $tg\delta$.

6. Sonuçların Değerlendirilmesi:

Dairesel kayma ve çekme-basınç testleri sonuçları otomatik olarak dosyalanır. Bunlar daha sonra ASC11 - tip dosyalara çevrilerek, bunlar mümkün olan her şekilde işleme tabi tutulabilirler. Bir özel bilgisayar programı, şunları belirtmek için Belçika Yol Araştırma Merkezinde (BRRC'de) geliştirilmiştir:

- yatay değiştirme parametreleri (Arrhenius eşitliği) ki bunlar master eğriyi yapmayı sağlar.
- numunedeki aktif enerji dağılılır.

Örnek: Numune referansı

Sıcaklık No	: 6
Başlama sıcaklığı	: 4.9 °C
Sıcaklık değişme oranı	: 5.0 °/min.
Sıcaklık dengeleme zamanı	: 10 dakika
Son sıcaklık	: 1 °C

Frekans (Hz)	T (°C)	Frekans (Hz)	E (Pa)	E' (Pa)	E'' (Pa)	Tg δ
5	1.50E+00	5.00E+00	2.06E-07	1.23E+07	1.64E+07	1.33E-00
0	1.53E+01	1.00E+01	3.02E+07	1.91E+07	2.34E+07	1.22E-00
15	1.45E+01	1.50E+01	3.87E-07	2.56E+07	2.91E-07	1.14E-00
20	1.48E+01	2.00E+01	4.61E-07	3.11E+07	3.39E+07	1.09E-00
25	1.56E+01	2.50E+01	5.02E-07	3.44E+07	3.66E-07	1.06E-00
30	1.48E+01	3.00E+01	5.55E-07	3.85E+07	3.99E-07	1.04E-00
35	1.47E+01	3.50E+01	6.08E-07	4.29E+07	4.31E+07	1.01E-00
40	1.49E+01	4.00E+01	6.43E-07	4.56E+07	4.53E+07	9.92E-01
45	1.56E+01	4.50E+01	6.66E-07	4.75E+07	4.67E+07	9.83E-01
50	1.49E+01	5.00E+01	7.08E-07	5.09E+07	4.92E-07	9.65E-01

Ek-2.1

BİTÜMLÜ BAĞLAYICILARIN YORULMALARININ TESPİTİ (FATIGUE TEST) TEST PROSEDÜRÜ

(Avrupa Standardı - Taslak Çalışması; Bitümlü Materyallerin Testi, 1996)

1. Uygulama

Bu standart, trapez şekilli numuneler kullanılarak 2 - nokta - eğilme ile kontrol edilen yorulma yüklemesi altındaki bitümlü karışımların davranış özelliklerinin bir yöntemini izah etmektedir.

Yöntem, maksimum agrega ebadının 20 mm olduğu, laboratuarda hazırlanmış yada en küçük kalınlığı 40 mm olan bir yol tabakasından kesilerek alınmış bitümlü karışımlar için kullanılır.

2. Tanımlar

2.1 Klasik bozulmanın ölçüsü

Dikkate alınan bir numunedeki bozulma, numunenin baş tarafında yarıya azaltılmış deplasmanın uygulanmasından gösterdiği reaksiyonun ifadesidir.

2.2 Bir numunenin yorulma ömrü

ϵ_j deformasyon seviyesinde numunenin yorulma ömrü klasik bozulma kriteri ölçümü ile benzer N_{ij} devir sayısıdır.

2.3 Bir seri numunenin standart sapması ve ortalama yorulma ömrü

ϵ_{jmax} deplasman seviyesinde n adet numunenin bir serisi üzerindeki N_{ejmax} ortalama yorulma ömrü şu formülle verilmiştir:

$$N_{ejmax} = e^{-\frac{\sum_{i=1}^n \ln N_{ij}}{n}}$$

n tekrarı için ϵ_{jman} seviyesinde elde edilen yorulma ömrünün tabii logaritmasının standart sapmasının tahmini şu formülle verilmiştir.

$$S_{ejmax} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\ln N_{ij} - \ln N_{ejmax})^2}}{n - 1}$$



2.4 Maksimum deformasyonla ilgili sabit

ϵ_j eğilme deplasmanı seviyesini, maksimum deformasyona çevirmek için i numunesinin boyutlarının $[B_i, b_i, e_j, h_i]$, Z_{ij} baş deplasmanına Bu K_{ei} olarak verilmiştir ve yukarıdaki parametrelerle ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$K_{ei} \cdot Z_{ij} = \epsilon_{jmax}$$

$$K_{ei} = \frac{(B_i - b_i)^2}{8 \cdot b_i \cdot h_i^2 \left[\frac{(b_i - B_i) \cdot (3B_i - b_i)}{2B_i^2} + \ln \frac{B_2}{b_2} \right]}$$

3 Semboller ve Kısaltmalar

Semboller ve kısaltmalar Çizelge 1' de verilmiştir. 1 mikrostren deplasman 10^{-6} ya eşit alınmıştır.

4 İlkeler

Verilen bir sinüzoidal deplasmanı frekansı için, yöntem, serbest bir ortamda sıcaklık kontrolü çeşitli esas testlerin yapılmasını gerektirir.

4.1 Test esası:

Testin esası şunlara bağlıdır,

- Bu ikizkenar trapezoidal konsol test elemanının başına sabit bir dalga genişliğinde sinüzoidal deplasman yüklemesi,
- Test elemanının reaksiyonuna, başa yapılan yüklemenin dalga genişliğindeki göreceli değişiminin kaydedilmesi,
- Test elemanının yorulma ömrünün ölçülmesi.

4.2 Yorulma çizgisi:

Deplasmanın genliği aynı seviyede olan tek tekrarlı esas testler için homojen bir gruptan numuneler seçilir. Test, farklı deplasman genliği seviyelerindeki bu tekrarların yinelenmesine bağlıdır. Test altındaki karışımların yorulma çizgisini çizmek ve hesaplamak şunlara imkan verir,

- 10^6 cycle E_6 ortalamasına yakın deplasman,
- yorulma çizgisi p' nin eğimi,
- yorulma ömrü S_{ey} ' nin doğal logaritmasının, artakalan dağılımının standart sapmasının tahmini,
- güvenli nispi aralık $E_6: \Delta_{e6}$



5 Ekipman

5.1 Test Makinası:

Numuneler (25 ± 1) Hz frekansla, buna imkan veren sistemde yüklenir:

- numunenin başına bir sinüzoidal deplasman uygulanır.
- yük, numune başına 100 den 300 N'a artarak uygulandığında, verilen bir deplasman için numune başındaki $0,1 \mu\text{m}/\text{N}$ 'dan daha az ortalama deplasman azalması
- numune metal tabanı ile desteklenerek test makinasındaki yerine yerleştirilir. Metal numunenin üzerinde, verilen bir deplasman için ölçülen deformasyona göre, yaklaşık 200 N 'luk bir yük altında 8 cm. kesitli çelik L şeklindeki numunede %5'den daha fazla düşme olmamalıdır. Metal numune $350 \pm 50 \text{ N}/\text{mm}$ 'lik bir impedansa sahip olmalıdır. Örneğin, elastik modülü 70 000 MPa olan metalden yapılmış, boyutları $13,5 \text{ mm} \times 30 \pm 1 \text{ mm} \times 250 \pm 10 \text{ mm}$ olan paralelkenar numune ve taban plakası tahkik için uygundur.

Özel amaçlar için, test değişik frekanslarda yapılabilir, frekans $\pm 5\%$ limitlerinde test boyunca sabit tutulmalıdır.

5.2 Sıcaklığı ayarlanabilir oda

Test, $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ kesinlikte sabitlenmiş, numune etrafında bir kaç cm. hava boşluğu olan, ortalama sıcaklığa imkan veren sıcaklığı ayarlanabilir odada uygulanır (test süresince). Eğer test makinası, sıcaklığı ayarlanabilir odayı tam olarak içermez ise, numunenin metal tabanının sıcaklığı, bu şartları hava ortamına irtibatlayarak sağlamalıdır.

Düzenleme $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ kesinliğinde olmalı.

5.3 Ölçme ekipmanı

Yük : Numune başındaki yük $\pm 1 \text{ N}$ kesinliğinde ölçülür.

Bu sensörün değerlendirme kapasitesi 1500 N dan daha büyük olmalıdır.

Yük kaydediliyor olmalıdır.

Deplasman: Sensörler kullanılarak ölçülebilen numune başındaki deplasman en az 10^{-3} mm kesinliğinde ölçülür.

6 Numune Hazırlama

6.1 Kesme ve stoklama

Numuneler, bir ikizkenar tropezoidal şeklinde ve sabit kalınlıktadır.

Test uygulanacak numuneler, laboratuarda yapılan ($600 \times 400 \times 120$) mm lik plakalardan yada (600×400) mm.lik plaka olarak minimum kalınlığı 40 mm olan yol tabakasından kesilerek sağlanır.



Plakanın boyuna aksı sıkıştırma aksı ile paralel olmalıdır.

Numuneler, düz bir yüzeyde güneşten korunarak maksimum sıcaklığı 30 °C şartlarında çarpılmayı önleyecek şekilde stoklanmalıdır.

6.2 Numune özellikleri

Numuneler şu şartları karşılamalıdır.

- 0,1 mm hassasiyette ölçülmelidir.
- % v_i deki standart sapma \leq %0,5 olmalıdır.
- Eğer K_{ci} deki değişme katsayısı \leq %1 ise her deformasyon seviyesindeki baş deplasmanı bütün numuneler için aynı olmalıdır.

6.3 Numunelerin stabilizasyonu

Numuneler kesildikten sonra 2 ve 8 hafta arasında stoklanmış olmalıdır.

6.4 Uçların yapıştırılması

Makinaya yerleştirilmeden önce, her numune geniş uçlardan üzerinde 2 mm. civarında oluklu, 20 mm kalınlığında bir metal tabana yapıştırılır.

Uygulama, taban üzerindeki numunenin yüklenmeye imkan verecek şekilde yapıştırılmayı sağlamalıdır.

Numunenin başına yapıştırılan üst başlık, uygulanacak deplasmana imkan sağlamalıdır.

7 Uygulama Yöntemi

7.1 Test ekipmanının hazırlanması

Sıcaklığı ayarlanabilir oda ve yükleme ekipmanı test sıcaklığına getirilir. Düşünülen baş deplasmanı (350 ± 50) N/mm impedanslı bir elastik numunenin kullanılmasıyla ayarlanır, ve sonra test edilecek numune test makinasına yerleştirilir.

Sıcaklığın sabitlenmesi için teste en az 4 saat sonra başlanır.

7.2 Yorulma testinin gerçekleştirilmesi

Numune başına deplasman amplitüdü yüklenmesiyle sinüzoidal olarak itilir. Buna uyan, deformasyon öngörülür ve formülle verilir.

$$Z_{ij} = \frac{\epsilon_j \max}{K_{ci}}$$



100 ve 500 cycle arasındaki ortalama reaksiyon yükü değeri kaydediciden okunur. Bu değer reaksiyon yükünün ilk değeridir.

Reaksiyon yükü ilk değerinin % 40' ından daha az olmaya başladığında test durdurulur.

7.3 Deplasman seçimi

Test, her seviyede en az 6 tekrarlama ile en az 3 deplasman seviyesi gerektirir.

Deplasman seviyesinin sayısı l dir.

Serinin ortalama yorulma ömrü, en az iki numune için 10^4 ve 10^6 cycle arasında ve en az bir seviye için 10^6 ve 10^7 arasında olmak üzere esas malzeme üzerinde deformasyon seviyeleri seçilir.

8 Neticelerin hesabı ve İzahı

Esas sonuç, seçilen ε_{jmax} için N_{ij} ömür süresinin temsil edilmesidir. Yorulma ömrü N_{ij} doğal logaritması ile ε_{jmax} 'in doğal logaritması arasında lineer regresyon yapılmasıyla şu şekilde çıkarılır:

$$\ln N = A_0 + A_1 \ln \varepsilon$$

Bir $\sigma_{x/y}$ standart sapması ile;

Hesap:

- A_1 ' in tahmini \hat{A}_1 ,
- A_0 'nin tahmini \hat{A}_0 ,
- r regresyonunun korelasyon katsayısı,
- p açısı (eğim).

$$p = \frac{1}{A_1}$$

- $S_{x/y}$ standart sapmanın tahmini $\hat{S}_{x/y}$

$$S_{x/y} = S_N \sqrt{\frac{(1 - r^2)(N - 1)}{N - 2}}$$

- 10^6 cycle deplasmanın tahmini

$$\varepsilon_6 = e^{\frac{-A_0 + \ln(10^6)}{A_1}}$$



• ε_6 üzerinde %95 güvenli sürede $\Delta\varepsilon_6$

$$\Delta\varepsilon_6 = \varepsilon_6 * (-1 + e^{2*P^{*95}}) \text{ ile}$$

$$S_0 = S_{x/y} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(\ln \varepsilon_6 - \ln \varepsilon)^2}{(N-1) S_\varepsilon^2}}$$

$S_\varepsilon, \ln \varepsilon_{\max}$ 'in standart sapmasının tahminidir:

$$S_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\ell} \sum_{j=1}^{n_j} (\ln \varepsilon_{j \max} - \ln \varepsilon)^2}{N-1}}$$

$\ln \varepsilon, \ln \varepsilon_{j \max}$ değerleri ortalamasıdır:

$$\ln \varepsilon = \sum_{i=1}^{\ell} \frac{\ln \varepsilon_{j \max}}{\ell}$$

$S_N, \ln N_i$ standart sapması tahminidir:

$$S_N = \sqrt{\frac{\sum_{ij} \left[\ln N_{ij} - \left(\frac{\sum_{ij} \ln N_{ij}}{N} \right) \right]^2}{N-1}}$$

$i = 1-n$ ve $j = 1-l$ dir.

9 Test Raporu

Test raporu şu standart ve göstergeleri belirtmelidir.

- karışımın tanınması,
- numunedeki ortalama hava boşluğu içeriği,
- uygulanabilirse, örnekleme veya üretim yöntemi,
- yorulma testi koşulları (sıcaklık, frekans),
- elde edilen neticeler:
 - Ortalama cycle sayısı ve her deplasman seviyesi için elde edilen standart sapma,
 - ε_6 ,
 - $\Delta\varepsilon_6$,
 - p eğimi (açısı),
 - $S_{x/y}$ standart sapmasının tahmini,
 - Yorulma çizgisinin çizimi.



- ayrıca, uygulama şartları, bu standart için sağlanılmayan detaylar ve neticeler üzerinde etkisi olabilecek başka öngörülenleri içermelidir.

10 Kesinlik

10^6 cycle uygun deplasmanın $\Delta\epsilon_6$ güvenli aralığının ortalama değeri verilen laboratuvarda sağlanır, 50.10^6 ve 140.10^6 arasında ϵ_6 değeri için 8.10^{-6} dir.

Çizelge 1 Semboller ve kısaltmalar

Sembol	Referans	
	Tanımlama (Açıklama)	Birim
Numune i		
h_i	yükseklik	mm
B_i	büyük baş	mm
b_i	küçük baş	mm
e_i	kalınlık	mm
m_i	ağırlık	mm
V_i	hacim	g
$\%V_i$	geometrik yöntemle boşluk yüzdesi	cm ³
K_{ci}	maksimum deplasman sabiti	-
e_i	gerilme seviyesindeki i numunesi için baş deplasmanı ve maksimum gerilme	mm ⁻¹
Z_{ij}	başta yüklenen deplasmanın genişliği	mm
ϵ_{jmax}	başta yüklenen deplasman ile yöndeş numunenin maksimum reaktif gerilmesi	
Test sıcaklığı		
	sıcaklık	°C
e_j	gerilme seviyesindeki i numunesine ait yorulma ömrü	
N_{ij}	klasik yorulma ömrü	
Yorulma çizgisi		
p	$\ln\epsilon_{jmax} = f(\ln N_{ij})$ düzenlemesinin sistemdeki eğimi	
ϵ_6	10^6 cycle ile yöndeş gerilme	
$S_{N,y}$	yorulma ömürlerinin doğal logaritmalarının standart sapma tahmini	
$\Delta\epsilon_6$	%95 bir olasılık için ϵ_6 nin güvenli aralığı	
N	başlıca testlerin sayısı (her seviyedeki (ϵ_{jmax}) numune sayısı, seviye sayısı) $N = n \cdot l$	
S_N	$\ln N_i$ nin standart sapma tahmini	
ϵ_{jmax}	deplasman seviyesinde n numunenin bir seviyesinin yorulma ömrü	
N_{ijmax}	ϵ_{jmax} deplasman seviyesinde elde edilen ortalama cycle sayısı	
l	ϵ_{jmax} deplasman seviyesi sayısı	
n	ϵ_{jmax} deplasman seviyesindeki numune sayısı	
Paralelkenar metal numune		
ϵ	bir orta noktada deplasman	
z	baş deplasmanı	mm
F	baş yükü	N

EK-2.2

BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN RİJİTLİĞİ

(Avrupa Standardı - Taslak Çalışması, Bitümlü Materyallerin Testi, 1996)

1 Uygulama

Bu standart, bitümlü karışımların rijitlik özelliklerini karakterize etmek için yapılan testlerin nasıl değerlendirileceği yöntemini izah eder. Bu tip testler, çeşitli tip numunelerin kullanıldığı, bir sinüzoidal yükleme veya diğer kontrollü yükleme altındaki sıkıştırılmış bitümlü materyaller üzerinde yapılır. Uygulanabilir test yöntemleri Madde 4' de belirtilmiştir.

Prosedür bir dizi bitümlü karışımların rijitlik esasları üzerinde üstyapıdaki göreceli performansın göstergesi olarak ve bitümlü karışımlar için şartnamelere göre test dataları kararlaştırılmak ve yoldaki potansiyel deformasyon davranışlarını tahmin etmek için data elde etmekte kullanılabilir.

2 Tanımlamalar

2.1 Kompleks modül

Kompleks modül bir sinüzoidal yük dalgası şekline maruz kalan bir lineer visko-elastik malzemede gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkiyi tanımlar.

$\sigma \cdot \sin(\omega \cdot t)$ gerilme uygulandığında,
 $\varepsilon \cdot \sin(\omega \cdot t - \phi)$ deformasyonu elde edilir.

ve bu deformasyon, gerilmeye oranla ϕ faz gecikmesine sahiptir. Gerilme deformasyon oranı kompleks modülü şu şekilde tanımlanır:

$$|E^*| = |E^*| (\cos \phi + i \cdot \sin \phi) \dots \dots \dots [1]$$

Kompleks modül iki bileşenle tanımlanır. Bu iki bileşen iki şekilde ifade edilebilir:

1-) gerçek ve sanal bileşenler E_1 ve E_2 :

$$\begin{aligned} E_1 &= |E^*| \cdot \cos \phi \\ E_2 &= |E^*| \cdot \sin \phi \dots \dots \dots [2] \end{aligned}$$

2-) kompleks modülün mutlak değeri (bazen "rijitlik modülü" diye adlandırılır) ve faz gecikmesi:

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$



$$\phi = \arctan \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \dots \dots \dots [3]$$

İkinci tanımlama pratikte daha çok kullanılır. Örneğin lineer elastik çok tabakalı hesaplarda, E^* modülü genelde Young modülü için bir girdi değeri olarak kullanılır.

Tamamen elastik malzemeler için, faz gecikmesi sıfırdır ve bu durumda kompleks modül azalarak Young modülüne dönüşür. Bu durum asfalt malzemeleri çok düşük sıcaklıklarda ($T \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$) olduğu zaman ortaya çıkar. Daha sonra kompleks modül mümkün olan en yüksek değeri E_∞ ' ye ulaşır.

2.2 Sekant modülü

t yüklemeye zamanındaki sekant modülü $E(t)$ kontrolü deформasyon oranı yüklemesine maruz kalan bir malzemede gerilme ve deформasyon arasındaki ilişkiyi tanımlar.

$$E(t) = \frac{F(t)}{\epsilon(t)} \dots \dots \dots [4]$$

Burada:

$F(t)$ - t zamandaki kuvvet,
 $\epsilon(t)$ - t zamandaki deформasyondur.

Deформasyon kanunu şudur:

$$\epsilon(t) = a_i \cdot t^n \dots \dots \dots [5]$$

Burada :

a_i ve n - sabitlerdir.

Aynı örnek üzerinde farklı a_i değerleri için birbirini izleyen bir kaç test yapılmıştır. Lineer viskoelastik malzemelerde, farklı a_i değerleri için elde edilen sekant modülü sadece yüklemeye zamanı t' ye bağlıdır.

3 Yöntemin özeti

Bu standart bitümlü karışımların rijitliğinin, eğilme testleri ile direkt ve en direkt çekme testini de içeren alternatif testlerde belirlenmesindeki genel yöntemi tanımlar. Uygun şekilli örnekler kendi Lineer aralıkları içinde tekrarlamalı yükler veya kontrollü deформasyon oranı yükleriyle deforme edilirler. Gerilme ve deформasyonun büyüklüğü ile bu ikisi arasındaki fark ölçülür.

Benimsenen test yöntemleri bu standartlar da değilse, özel test koşullarının ayrıntıları tanımlanmalıdır.



4 Test yöntemleri

4.1 Sinüzoidal yükleme

4.1.1 Eğilme testleri

Göreceli biçim ve kütle faktörünün kullanımıyla karşılaştırılmalı test sonuçlarını verdiği ortaya çıkarılan aşağıdaki test yöntemleri benimsenebilir (Bakınız Çiz. 1):

- Prizmatik örnekler üzerinde 2 noktalı eğilme (2PB-PR)
- Trapezoid örnekler üzerinde 2 noktalı eğilme (2PB-TR)
- Prizmatik örnekler üzerinde 3 noktalı eğilme (3PB-PR)
- Prizmatik örnekler üzerinde 4 noktalı eğilme (4PB-PR)

4.1.2 Diğer testler

Laboratuvarlar arası yapılan testler, ekipmanların dikkatlice kalibre edilmesi ve bazı temel kılavuzların sıkı bir şekilde takip edilmesi koşuluyla, yukarıda belirtilen test türlerinin birbiriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Bitümlü karışımların rijitlik özelliklerinin tanımlanmasında diğer testler kullanıldığında, özellikle değerlendirme yöntemleri onaylanmalıdır.

4.2 Kontrollü deformasyon oranı yükleme

Yükleme zamanı (t)' deki modüller $f = \frac{1}{2\pi t}$ frekansındaki kompleks modülle karşılaştırılacak olursa, 1 saniyeden az yükleme zamanı için sinüzoidal yüklemeyle kıyaslamalı test sonuçları veren aşağıdaki test yöntemi benimsenebilir:

- Silindirik numuneler üzerinde tek akslı direkt çekeme testi (DT - CY)

5 Test koşulları

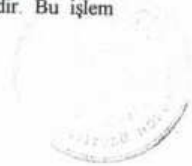
Bu standart belirli tipte bir test aygıtı empoze etmediğinden, test koşullarının hassas seçimi kullanılan aygıtın olanaklarına ve çalışma aralığına bağlıdır.

Ancak bazı temel koşullar aşağıdaki hususları sağlamak için gereklidir:

- daha iyi bir tekrarlanma ve
- yararlı özelliklerin ortaya çıkarılması.

5.1 Yükleme koşulları

Bu standart bir sinüzoidal yükün bir numuneye uygulandığı eğilme testleriyle ilgilidir. Yükleme sinyalinin büyüklüğü bir geri dönüş kontrolüyle kontrol edilmelidir. Bu işlem kuvvete veya yer değiştirmeye dayandırılabilir.



Dalga şekli tamamen harmonili olmalıdır. Herhangi bir sapma, ölçümü bozabilecek anormal bir durum veya bir rezonans olayının işaretidir.

5.2 Deformasyon büyüklükleri

Yükün büyüklüğü, ölçümleri yapmak için gerekli sürede hiç bir zarara yol açmayacak şekilde olmalıdır. Deformasyonlar, yorulma zararını önlemek için 50×10^{-6} ' dan düşük seviyede tutulmalıdır.

Deformasyonun belirli düzeylerinin ötesinde, malzemenin lineer olmayan davranış gösterebildiği bilinmektedir. Böyle bir durumda, gerilme ve deformasyon arasındaki oransallık fazla dikkate alınmaz ve yukarıda tanımlanan kompleks modül kavramı artık doğru değildir.

Bu limit malzemeye bağlıdır, fakat belli bir malzeme için sıcaklığa göre de değişir.

En yüksek sıcaklık diliminde, özel dikkat gösterilmelidir. Bu yüzden linearite testlerinin test programında uygulanacak en yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesi tavsiye edilir. Bu testler, kompleks modülün giderek artan deformasyonlar (veya gerilmeler) için sabit bir frekansta ölçülmesini ve modülün artık sabit olmadığı (azalmaya başladığı) durumda deformasyon değerinin belirlenmesini kapsar.

5.3 Yükleme frekansları

Frekans genişliği kullanılan aygıtla bağlıdır. Çoğu ekipmanlar 1 ile 50 Hz. arasında bir genişliği kapsayabilirler. Ancak izotermelerin logaritmik olarak sunulmasını sağlamak için, bu genişliğin mümkün olduğu kadar büyük tutulması tercih edilir. Tipik bir frekans dizisi şu şekilde olabilir:

0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100, 300 Hz.

Özellikle yüksek frekanslarda, rezonans olgusundan kaçınmak için dikkat gösterilmelidir.

5.4 Sıcaklıklar

Sıcaklıklar fiili tam ölçekli koşullarda iklim şartlarının uç noktalarını kapsamalıdır. Bu sıcaklıklar, izotermelere yer değiştirterek Master eğrinin hassas bir şekilde belirlenmesini sağlayacak kadar birbirine yakın olmalıdır (Şekil 2).

İki izoterm arasındaki fark 10°C ' den fazla olmamalıdır. Tipik bir sıcaklık dizisi şu şekilde olabilir:

-30, -20, -10, 0, +10, +20, +30, +40 $^{\circ}\text{C}$

+40 $^{\circ}\text{C}$ 'lik son sıcaklık, özellikle olası doğrusal olmama problemleri ve aynı zamanda örneklerin muhtemel sünmesine karşı dikkatlice kullanılmalıdır (özellikle eğilme testlerinde).

İklim odasının sıcaklığı numunenin çevresinde $\pm 0,3$ °C'lik belirli bir sıcaklığa eşit olacaktır. Her test sıcaklığı için, numune testten önce en az 4 saat süreyle iklim odasında tutulacaktır.

6 Sonuçların Gösterilmesi

6.1 Kompleks modülün türetilmesi

Test sırasında kolayca elde edilen ölçümler F kuvveti, D deplasmanı ve bunların faz açısı ϕ ' dir.

Mekanik malzeme özellikleri bu ölçümlerden formüller vasıtasıyla ve Çizelge 1'de verilen iki belirli faktörün kullanımıyla türetilmelidir:

γ : numunenin boyutu ve şeklinin bir fonksiyonu olan şekil faktörü,

μ : kütle faktörü; burada M numunenin ağırlığı ve m bileşke kuvvete atalet etkisiyle tesir eden hareketli parçaların ağırlığıdır. M ve m gram cinsinden ifade edilir.

Kompleks modülün iki bileşeni aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

1-) Gerçek ve sanal bileşenler E_1 ve E_2 :

$$E_1 = \gamma \cdot \left(\frac{F}{D} \cdot \cos \phi + \mu \cdot \omega^2 \right)$$

$$E_2 = \gamma \cdot \left(\frac{F}{D} \cdot \sin \phi \right) \dots \dots \dots [6]$$

2-) Kompleks modülün bir başka eşdeğer tanımı, bazen "rijitlik modülü" diye de adlandırılan kompleks modülün mutlak değeri $|E^*|$ ve faz açısı ϕ ile yapılabilir:

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

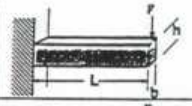
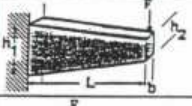
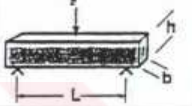
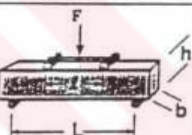

$$\phi = \arctan \left(\frac{E_1}{E_2} \right) \dots \dots \dots [7]$$

Aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- [4] no.lu eşitlikteki atalet faktörü nedeniyle, kuvvet ve deplasman arasındaki faz açısı kompleks modülün faz gecikmesinden farklıdır ve bu fark yüklem frekansıyla birlikte artar.
- deneyle belirlenen kompleks modülün doğruluğu şekil faktörü ile kütle faktörünün doğru seçimine bağlıdır. Bu husus yüklem koşullarının doğru olarak değerlendirilmesi ve test ekipmanlarının hassas kalibrasyonunu gerektirir.



Çizelge 1 Değişik numuneler için şekil ve kütle faktörleri ile yükleme koşulları

Yükleme Tipi	Şekil faktörü γ [L^{-1}]	Kütle faktörü μ
2PB-PR 	$\frac{4L^3}{bh^3}$	$\frac{M}{4} + m$
2PB-TR 	$\frac{6L^3}{bh_1^2(h_1 - h_2)^2} \left[\frac{h_1^2}{(h_1 - h_2)} \ln \frac{h_1}{h_2} - (3h_1 - h_2) \right]$	$0.135M + m^*$
3PB-PR 	$\frac{24L^3}{\pi^4 bh^3} \approx \frac{L^3}{4bh^3}$	$\frac{M+m}{2}$
4PB-PR 	$\frac{2L^3 - 3L^3 + l^3}{8bh^3}$	$\frac{M}{2} + m$
DT-CY 	$\frac{4h}{\pi D^2}$	

*numunelerin normal boyutları için

6.2 Sekant modülünün türetilmesi

Testler sırasında kolayca elde edilen ölçümler F kuvveti ve D deplasmanıdır. Belirli bir yükleme zamanı ve sıcaklık için, sekant modülü aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$E = \sigma/\epsilon \text{ (Pa cinsinden)} \dots \dots \dots [8]$$

Burada:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \dots \dots \dots [9]$$

F (N) : testteki maksimum deformasyon için gerekli yük,

S (m^2) : numunenin kesiti,

ϵ : testteki maksimum deformasyondur.



6.3 Master eğrisinin türetilmesi

6.3.1 İzotermiler

Modül değerleri genellikle sıcaklık ve frekansın (veya yüklenme zamanının) bileşimi için verilir. Sonuçlar grafik olarak modülün izotermeleri şeklinde sunulur. Şekil 1 kompleks modül için 4 ayrı sıcaklıktaki izotermelerin bir örneğini vermektedir.

6.3.2 Master eğri

Modül değerlerinin farklı sıcaklık ve frekanslarda elde edilmesiyle birlikte, master eğri frekans ölçeğindeki sonuçların $\log(\alpha T)$ faktörüyle değiştirilmesi suretiyle çizilebilir.

$$\text{Log}(\alpha T) = \frac{\delta H}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \dots \dots \dots [10]$$

Burada:

δH malzemeyi tanımlayan görünür canlandırma (aktivasyon) enerjisi (50 kcal/mol seviyesinde),

R evrensel gaz sabiti (1,98 KJ/(mol.K) veya 8,317 J/(mol.K)

T, T_0 ... K cinsinden ifade edilen sıcaklıklardır.

Değiştirme faktörleri δH teriminin sürekli bir master eğrisinin elde edilmesi için ayarlanmasıyla belirlenebilir. Bilinen bitümlü bağlayıcılar için 50 Kcal/(mol.K)'lık bir canlandırma enerjisi genelde uygundur ve bu durumda formül [6] aşağıdaki şekilde indirgenmiş olur:

$$\text{Log}(\alpha T) = 10920 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \dots \dots \dots [10a]$$

Referans sıcaklığın seçimi benimsenen deneysel değerlerin genişliği içinde rasgele yapılabilir, bu testin amacına bağlıdır. Şekil 2 bu transformasyonu örnek olarak göstermektedir.

Karşılaştırma amacıyla, referans olarak 10 °C'nin kullanılması tavsiye edilir. Ancak bununun altı çizilmelidir ki, canlandırma enerjileri çok farklı olursa değişik malzemelerin master eğrileri aynı grafik üzerinde kıyaslanamaz.

Bu durumda, master eğri azalmış bir parametrenin fonksiyonudur (Şekil 3) :

$$xX = \log(\alpha_T \cdot f) \dots \dots \dots [11]$$

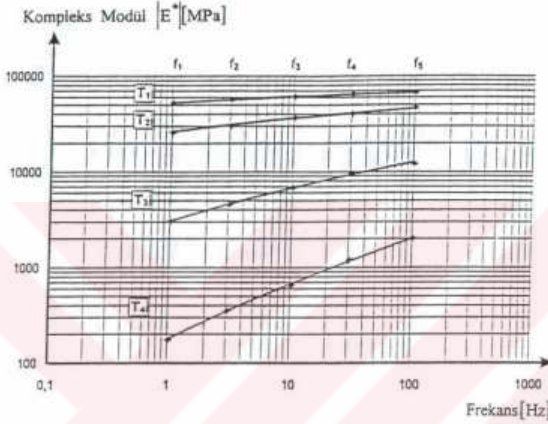
Not : Benzer bir master eğri kontrollü deformasyon oranı testleri için tesis edilebilir. Bu durumda master eğri azalmış yüklenme zamanının bir fonksiyonudur.



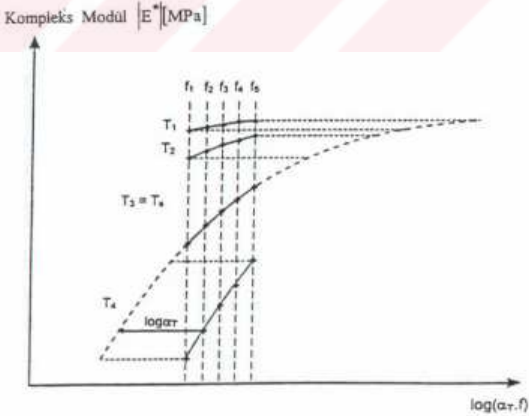
6.3.3 Black diyagram

“ Black diyagram” kompleks modül ile faz açısı arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu tür bir grafiğin örneği Şekil 4’de verilmiştir. Böyle bir sunuş, malzemenin çok düşük sıcaklıklarda gösterdiği kompleks modülün saf elastik bileşeni E_{∞} ’nin türetilmesine imkan sağlar.

Bu özellik 30 °C’den düşük sıcaklıklara tekabül eden birkaç değer için E^* ile O arasındaki lineer bağıntısının belirlenmesi suretiyle elde edilir.

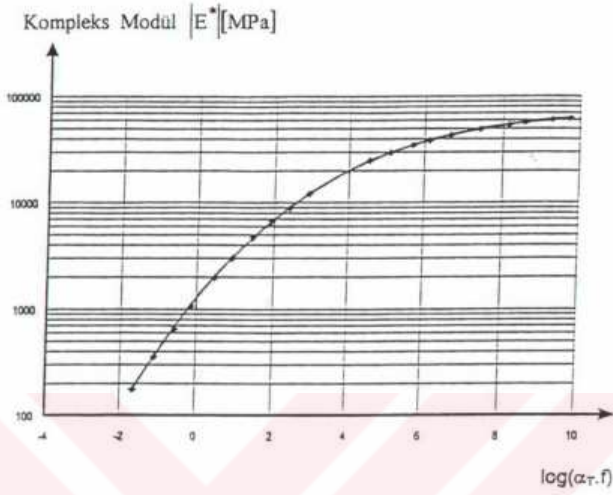


Şekil 1 İzotermier için örnek

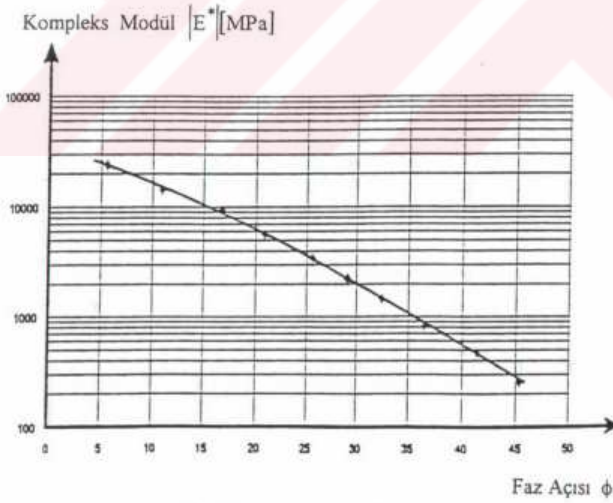


Şekil 2 Transformasyon yöntemi





Şekil 3 Master eğri

Şekil 4 E^* ve ϕ için Black diyagram

RTFOT ÜRETİM YAŞLANMASI ve ASFALTEN %'si TESPİTİ DENEYLERİ

1 Dönen ince film halinde ısıtma testi (RTFOT, ASTM D-2872)

Deney Aparatı: $\pm 0,5$ °C hassasiyetle sabit sıcaklığa ayarlanabilen etüv, yatay eksen etrafında dönme düzeneğine sahip, üzerinde 8 adet cam numune kabının yerleştirilebildiği yuvalar bulunan 30 cm çapında alüminyum plaka, 4,5 lt/sn debiyle oksijen üfleyen düzenek, ısı ölçer, 64 mm çapında 140 mm yüksekliğinde bir yüzü kapalı, diğer yüzünde 32 mm boşluk bulunan silindirik cam numune kabı.

Deneyin Yapılışı : Deney 163 °C' de, aynı bağlayıcıdan iki cam numune kabı 35' er gram numune konularak (8 adet numune kabında, aynı anda 4 ayrı numune deneyebiliyor), alüminyum plakadaki yuvasına yerleştirilmesinden sonra, alüminyum plakamın dönme düzeneği ve silindirik cam numune kabının içine doğru oksijen üfleyen düzenek çalıştırılarak deney başlatılır. Deneyin standart süresi 75 dakika olup, deney araştırma amacıyla değişik sürelerde yapılabilmektedir.

Bağlayıcının üretim (ısıtma, karıştırma, serme, sıkıştırma) sırasındaki yaşlanmasını ölçmeye yönelik olarak yapılan bu testin sonunda deney numunesinin ağırlık kaybı, penetrasyon, yumuşama noktası, asfalten oranı, malten oranı ve kızılötesi (infrared) ölçümleriyle numunenin deneyden önceki ve sonraki değerleri arasındaki değişimler, şartnamelerde verilen sınırlamalara göre kontrol edilerek değerlendirilir.

2 Asfalten %'si Tespiti

Deney bağlayıcıdaki Asfalten oranını tespit etmek amacıyla yapılır. Deneyde, iki ayrı erlene ~ 7' şer gram bağlayıcı numunesi konur ve kab ve (numune + kap) tartımları yapıldıktan sonra kaba ~ 60 ml. Heptan ilave edilerek numune 45 dakika süreyle ısıtılarak karıştırılır ve bağlayıcının heptanda çözülmesi sağlanır. Etüvde 24 saat süreyle kurutulmuş ve tartılmış filtre kağıdından 1 saat süreyle çözülmüş numune heptanla yıkanarak süzülür. Filtre etüvde tekrar kurutularak tartımları yapılır. Sonuç olarak heptanda çözülmeyen ve filtre üzerinde kalan Asfaltenler yapılan tartı ölçümleriyle tespit edilir. Her iki numune sonucu arasındaki farkın % 10 dan büyük olmaması koşuluyla bu iki değer aritmetik ortalaması deney sonucu olarak alınır.



**“ STANDART OLMAYAN TEST YÖNTEMLERİN “ DE BELİRTİLEN
KAYNAKLAR:**

- Anderson, D.A. ve Dongre, R.H., (1993), Development of the SHRP Direct Tension Test for Bitümens, Proceedings of 5 th Eurobitume Congress, Stockholm, Vol IA, s.250-255
- Belgian Road Research Centre Method of Measurement-ME 65/91,(1991), Boiling water stripping Test on Coarse Aggregates Coated with a Bitüminous Binder.
- Benson, J.R.,(1955),New Concepts for Rubberized Asphalt,Roads and Streets, April, s.38142.
- Berenguer, B., Vecaba, J.S., (1989), Enhancement of the Plasticity Range in bitümen-SBS mixtures for roofing purposes, Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol I, s.79-82.
- Bonoi, A., (1988), Methodologie de caracterisation des Liants Modifies, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.119-133
- Boussad, K., Carre, D.ve Muller, J-M.,(1988), The TTT: Toughness Tenacity Test, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.87-90
- Boussad, K., Muller, J-M. ve Touzard, B.(1988) Evalvation of Brittleness temperature thru plate cohesion test, Proceedings of RILEM Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.225-228
- Breuer, J.U., (1988 a), Dropping Temperature of Chips in the Cold (KST) and in the Heat (WST), Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.229-231
- Breuer, J.U., (1988 b), Elastic Recovery of Polymer Modified Binder, Proceedings Of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.83
- Breuer, J.U., (1988 c), Storage Stability Test-Homogeneity Test For Hot Stored Polymer Modified Binder, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, p.85
- BRRC, (1997), Procedure: Rheological tests on bituminous binders, October.
- Brule, B., Brion, Y., ve Tanguy, A., (1988), Paving Asphalt Polymer Blends: Relationships Between Composition, Structure and Properties, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.57, s.41-64
- Button, J.W., (1992), Summary of Asphalt Additive Performance at Selected Sites, Transportation Research Record 1342, TRB, National Research Council, Washington, D.C.



- Cavallere, M.G., Diani, E. ve Vitalini Sacconi, L., (1993), Polymer Modified Bitumens for Improved Road Application, Proceedings of 5 th Eurobitume Bitumens Congress, Stockholm, Vol.IA, s.138-142.
- Chaguet, F.S. ve Ista, E.J., (1992), The Determination of SBS, EVA and APP Polymers in Modified Bitumens, Polymer Modified Asphalt Binders, ASTM STP 1108, Kenneth R. Wardlaw and Scott Shuler, Eds., s.35-49
- Choyce, P.W., (1989) Asphalt Mixtures Containing EVA Modified Bitumen Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I.
- De Ferrariis, L., Gallino, G., Italia, P., Mancini, G. ve Rebesco, E., (1993), Rheological Characteristics of Polymer Modified Bitumens, Proceedings of 5 th. Eurobitume Congress, Stockholm, Vol.IA, s.133-137.
- Denning, J.H. ve Carswell, J., (1981), Improvements in Rolled Asphalt Surfacing by the Addition of Organic Polymer, TRRL Laboratory Report 989.
- Dong, A., (1989), Research Work into Modified Bituminous Binders with Polymer Additives, Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s. 181-185.
- European Standard, (1996), Test reference number:2.1, Tc 227 work item 00227130, second WG 1-draft.
- Fetz, E. ve Angst, ch., (1985), Polymer Modified Bitumen Requirements, Proceedings of 3rd Eurobitume Symposium, Hague, Vol. I, s.506-511.
- Fifield, F.W. ve Kealey, D., (1990), Principles and Practice of Analytical Chemistry, 3 rd.edn, Blackie and Son Ltd, London.
- Giavarini, C. ve Vecchi, C., (1989), Evaluation of Bitumen by NMR, Proceedings of 4 th Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.260-263.
- Grimm, G., (1989), Application of Microscopic Methods in the Field of Polymer Bitumen Binders, Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.54-55.
- Hancock, J., (1823), Brit. Patent No.4768 [1823], From ZENKE, G.(1985)
- Harders, O., (1988), Dropping of Ball-Test, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, P.91
- He, L.Y. ve Button, J.W., (1991), Methods to Determine Polymer Content of Modified Asphalt, Transportation Research Record 1317, TRB, National Research Council, Washington, D.C., s.23-31.
- Johansson, U. ve Linde, S., (1991), Polymer Modified Asphalt Binders-Part 1, SP Report, No.2, Swedish National Testing and Research Institute.

- Jorgensen, T., (1993), Rheological testing of Binders with a Controlled Stress Rheometer, Proceedings of 5 th Eurobitume Congress, Stockholm, Vol IA, s.171-174.
- Javanovic, J.A., Djonlagic, J. ve Dunjic, B., (1993), A Rheological Study of Behavior of Polymer-Bitumen Blends, Proceedings of 5 th Eurobitume Congress, Stockholm, Vol IA, s.256-262.
- Khalid, H. ve Davies, E., (1993), A Dynamic Approach to Predict the Performance of Conventional and Polymer Modified Binders and Mixes Containing them, Proceedings of 5 th Eurobitume Congress, Stockholm, Vol IA, s.246-249.
- King, G.N., Muncy, H.W. ve Prudhomme, J.B., (1986), Polymer Modification: Binders Effect on Mix Properties, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.55, s.519-540.
- Kolb, K.H., (1985), Laboratory Evaluation of Polymer Modified Bitumen and Polymer Modified Asphalt, Proceedings of 3 rd Eurobitume Symposium, Hague, Vol.I, s.533-536
- Lomi, C., and Varisco, F., (1989), Compatibility of Bitumen with Acactic Polypropylen New Experimental Monitoring Procedure, Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.269-274.
- Muncy, H.W., King, G.N., ve Prudhomme, J.B., (1987), Improved Rheological properties of Polymer-Modified Asphalts, Asphalt Rheology-Relationship to mixture, ASTM STP 941, Edited by Briscoe, O.E., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Nazarian, S., Baker, M.R., ve Crain, K., (1993), Development and testing of a Seismic Pavement Analyzer, SHRP-H-375, National Research Council, Washington, D.C..
- Neubauer, O., (1988), Chromatography of SBS in Bitumen, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.155.
- Oliver, J.W.H., With, H.P. ve Isacson, U., (1988), Laboratory Investigations of Polymer Modified Bitumens Using the ARRB Elastomer, Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, s.105-109
- Öster, R. ve Sillen, B., (1989), The Durability of Modified Bitumen in the Asphalt Making Process an During One Year on the Road, Proceedings of 4 th Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.324-328.
- Ruud, O.E., (1989), Characterization of Bituminous Binders by Gas Chromatography Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.285-289.
- Santagata, E. ve Montepara, A., (1993), An NMR based method for the Chemical Characterization and Rheological Selection of Modified Bitüümens, Proceedings of 5 th. Eurobitume Congress, Stockholm, Vol IA, s.143-147.
- Sherma, J. ve Fried, B., (1991), Handbook of Tihn-Layer Chromatography, Marcel Dekker, Inc. New York, s.342-348.



Svetel, D., (1985), Investigation of the Elastic Behavior of Bitumen, Proceedings of 3 rd. Eurobitume Symposium, Hague, Vol.I, s.108.114.

Sybilski, D., (1993), Non-Newtonian Viscosity of Polymer-Modified Bitumens, Materials and Structures, Vol.23, s.15-23.

Thompson, D.C. ve Hagman, J.F., (1958), The Modification of Asphalt with Neoprene, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 27 s.494-512.

Torres, J., Gonzelez, J.Ma.ve Peralta, X., (1993), Correlation Between the Fractionation of Bitumen According to the Methods ASTM D 4124 and Introscan, Proceedings of 5 th Eurobitume Congress, Stockholm, Vol.IA, s.203.208.

Tosh,D.J.,Taylor, M.B. ve Robinson, H.L., (1992) , Simple but Effective, Highways, May,s.26-28

Woodside, A.R. ve Lynch, H.G., (1989), Assesment of Performance of Polymer Modified Binders When Used in Surface Dressing, Proceedings of 4 th. Eurobitume Symposium, Madrid, Vol.I, s.685-678.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 05.01.1962
Doğum Yeri : Arapgir / Malatya
İlkokul : Devrim İlkokulu, Arapgir, 1971.
Ortaokul : Silivrikapı Ortaokulu, İstanbul, 1975.
Lise : Şehremini Lisesi, İstanbul, 1978.
Lisans : Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1982.
Yüksek Lisans : Yıldız Üniversitesi, İstanbul, 1989.
Doktora : Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
Medeni Durumu : Evli ve ikisi kız üç çocuk babasıdır.

Yaptığı Görevler

- 1982 - 1984 : Karayolları 9.Bölge Müdürlüğü Etüt Ekip Mühendisi ve Yol Yapım Kontrol Mühendisi
- 1984 - 1986 : Yedek Subay
- 1986 - 1995 : Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü, Kınıalı-Sakarya Otoyolu 1.Kesim Kontrol Mühendisi
- 1995 - 1997 : Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü, Bakım Mühendisi
- 1997 - : Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü, Üstyapı Mühendisi (1997 yılında 5 ay süreyle çalıştığı kurum adına, Belçika Yol Araştırma Merkezinde Araştırma ve Laboratuar çalışmaları yapmıştır.)

T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
MÜDÜRLÜĞÜ



